Aus dem Strahleninstitut
der ersten Universitätsfrauenklinik in München
Direktor: Professor Dr. Eymer

Über den Wirkungsmechanismus des Lichtes

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde
Verfaßt und einer
Hohen medizinischen Fakultät der Bayerischen
Ludwig-Maximilians-Universität zu München
vorgelegt von

Johann Hubloher

Landshut

1939

Druck von Knorr & Hirth Kommanditgesellschaft, München

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41554006_0040

Aus dem Strahleninstitut
der ersten Universitätsfrauenklinik in München
Direktor: Professor Dr. Eymer

Über den Wirkungsmechanismus des Lichtes

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde
Verfaßt und einer
Hohen medizinischen Fakultät der Bayerischen
Ludwig-Maximilians-Universität zu München
vorgelegt von

Johann Hubloher

Landshut

1939

Druck von Knorr & Hirth Kommanditgesellschaft, München

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Bayer. Ludwig-Maximilians-Universität zu München

Referent:
Professor Dr. Gotthardt

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Infolge Ablebens meines ursprünglichen Referenten Prof. Dr. Voltz kurz vor Fertigstellung der Arbeit übernahm Herr Prof. Dr. Gotthardt, Vorstand des physikalisch-medizinischen Institutes des Krankenhauses Schwabing München, liebenswürdigerweise das Referat. Ich möchte Herrn Prof. Dr. Gotthardt an dieser Stelle für sein freundliches Entgegenkommen meinen ergebensten Dank aussprechen.

Meinen lieben Eltern

in Dankbarkeit gewidmet!

Über den Wirkungsmechanismus des

Die Kenntnisse von der Heilwirkung des Lichtes gehör
ältesten geistigen Besitz der Menschheit. Die ersten Erfah
sich selbstverständlich auf die natürliche Lichtquelle, die
bäder waren schon in grauer Vorzeit bei den Assyriern u
wie den alten Ägyptern bekannt und beliebt. Im klassis
finden wir bei den Griechen und Römern eine hochentwick
Lichtbadekur. In besonderem Ansehen stand die Heilkraft
den alten Germanen, welche die steigende Sonne als „Heilg
Alles Leben führte man auf die Sonne zurück und auch
der Satz „ohne Licht kein Leben". Aber erst durch die E
Physik haben die Strahlen eine wesentliche Bedeutung in
behandlung erhalten, sowohl als Hilfsmittel in der Diagnost
Heilmittel. Nachdem die Strahlenbehandlung eine reine Erf
schaft ist, zeigten sich bei dieser Art der Krankenbehand
wünschten auch höchst unerwünschte Wirkungen und so
Notwendigkeit, die Wirkung der Strahlen auf physiologis
logische Lebensprozesse zu untersuchen, um ihre Anwend
schen, die gewünschten Wirkungen in den Vordergrund ste
vor allem aber die unerwünschten oder gar gefährlichen W
meiden zu lernen.

Unter Strahlung versteht man eine Energieform, die in
denen Formen auftritt. Einerseits sind es Schwingunge
Natur, die sich als Lichtstrahlen im weiteren Sinne äußern
auch die Röntgen- sowie die γ-Strahlen des Radiums gehöre
ist es die Korpuskularstrahlung, welche durch die α- und
Radiums sowie durch die Kathodenstrahlen dargestellt wir

Die elektro-magnetischen Strahlen unterscheiden sich ledig
ihre Wellenlängen voneinander. Diese reichen von klei
0,01 $\mu\mu$ bis zu den Längen von 1000 km.

Bis zu 1 $\mu\mu$ kennzeichnet die Wellenlänge die Röntgenstra
bis zu einer Wellenlänge von 100 $\mu\mu$ ist noch unerforschtes
wenig erforschtes Gebiet. Von hier an beginnen die soge
strahlen, die man im weitesten Sinne bis zu einer Welle
annimmt. Bis beinahe 400 $\mu\mu$ sind diese „Lichtstrahlen" den
Auge nicht erkennbar, während wir sie auf der photograp
sowie auch sonst durch chemische Vorgänge leicht nachw
Von 400 $\mu\mu$ bis 800 $\mu\mu$ reicht das dem menschlichen Auge s
trum und von hier bis 1 μ sind es ultrarote, ebenfalls de

erkennbare Strahlen. Von hier bis ungefähr 340μ erstreckt sich das große Gebiet der Wärmestrahlen, denen sich dann wieder unerforschte Teile anreihen. Von 4 mm bis zu Längen vieler Kilometer reicht das Gebiet der elektrischen Wellen.

Über die Wirkung des Lichtes in Bezug auf die Wellenlänge läßt sich allgemein sagen: die langwelligeren Strahlen rufen thermische, die kurzwelligeren chemische Wirkungen hervor. Je kurzwelliger die Strahlung ist, desto stärker ist ihre chemische Wirkung.

In den Versuchen über die Wirkung des Lichtes hat man sich teils des natürlichen Lichtes, vor allem des Sonnenlichtes, wie auch verschiedener künstlicher Lichtquellen bedient. Man unterscheidet vor allem zwischen Temperaturstrahlern, deren wichtigster Repräsentant die Sonne ist, und den Lumineszenzstrahlern, die besonders durch die vielfach gebrauchten Quecksilber-Quarzlampen repräsentiert sind. Während die Temperaturstrahler ein kontinuierliches Spektrum besitzen, ist das der Lumineszenzstrahler durch das Spektrum der betreffenden Verbindung, in dem genannten Falle des Quecksilberdampfes, gegeben. Vielfach kommen gemischte Strahler zur Verwendung, zu denen z. B. die Kohlenbogenlampe gehört, indem der Bogen ein Lumineszenzstrahler ist im Gegensatz zu den Kohlepolen (Pincussen). Für biologische Versuche sind aus der Gesamtstrahlung häufig gewisse Abschnitte durch Filter, Auswahl bestimmter Strahler usw. herausgeschnitten worden, während andere Versuche mit der Gesamtstrahlung angestellt werden.

Das Zustandekommen und die Stärke einer biologischen Lichtwirkung ist von verschiedenen Faktoren abhängig.

1. Vor allem ist es die Lichtquelle selbst, die durch Intensität und Wellenlänge des emittierten Lichtes charakterisiert ist. Von den natürlichen Lichtstrahlen sind die praktisch wichtigsten die Sonnen- bzw. Himmelsstrahlen. Unter Himmelsstrahlung versteht man die durch Sonnenstrahlen hervorgerufene Eigenstrahlung der Atmosphäre. In medizinischer Hinsicht ist insbesondere die spektrale Zusammensetzung der Lichtquelle von Bedeutung. Die physiologische Wirkung der Strahlen ist jedoch nicht an bestimmte Spektralgebiete gebunden, die strahlende Energie an sich ist das wirksame Prinzip (Hausmann). Es sei jedoch damit nicht gesagt, daß den verschiedenen Spektralbezirken nicht eine verschiedene Dignität zukäme. Die biologisch wichtigste Lichtquelle ist die Sonne. Sie liefert wie alle glühenden Körper (ausgenommen die Oxyde der seltenen Erden) ein kontinuierliches Spektrum. Es ist ferner wichtig, ob die Lichtquelle reich an ultravioletten, chemisch wirksamen Strahlen ist oder nicht, ebenso ist zu beachten ob dunkle Wärmestrahlen emittiert werden.

2. Die Entfernung der Lichtquelle vom Objekt und die Richtung der Strahlen. Die Beleuchtungsstärke, worunter man die von der Flächeneinheit empfangene Lichtmenge versteht, hängt, abgesehen von der

Belichtungsdauer, von der Entfernung der Fläche vom beleuchteten Körper und von dem Neigungswinkel der einfallenden Lichtstrahlen ab. Je mehr sich der Einfallswinkel des Lichtes einem rechten Winkel nähert, um so kräftiger wirkt es.

3. Der Einfluß des Mediums zwischen Lichtquelle und biologischem Objekt. Qualität und Intensität werden durch die Lichtquelle und die zwischen ihr und dem Belichtungsobjekt liegenden Medien bestimmt. Der Einfluß des Mediums kann sich in mehrfacher Hinsicht geltend machen. So kann vor allem das Medium durch die Strahlen selbst beeinflußt werden, ferner können allgemein auf biologische Prozesse wirkende Umstände in Betracht kommen, die direkt oder indirekt durch das Verhalten des Mediums herbeigeführt werden, z. B. Temperatur des Mediums, Sauerstoffgehalt u. a. m. Schließlich kann das Medium selbst wie bei der Entstehung der Himmelsstrahlung zur Lichtquelle werden. Direkte Beeinflussung der Strahlen durch das Medium lassen sich am besten an künstlichen Lichtquellen beobachten. Schickt man das Licht einer Kohlenbogenlampe in dem einen Falle durch ein System von Bergkristallinsen, so erhält man hier ein Licht, das reich an ultravioletten Strahlen ist. Schickt man es im anderen Falle durch ein System von gewöhnlichen Glaslinsen, so enthält dieses Licht nur ganz geringe Mengen von ultravioletten Strahlen. Die Vorschaltung der Glaslinsen, eines der Medien zwischen Lichtquelle und Objekt, hielt demnach die kurzwelligen Strahlen größtenteils von dem Objekt ab. Unter natürlichen Verhältnissen spielt bei der Beeinflussung des Strahlenganges das Verhalten der Atmosphäre eine entscheidende Rolle.

Hier ist nach den grundlegenden Ausführungen von Karl Dorno (Strahlentherapie Bd. 9, 1919) und A. Jodlbauer kurz zu bemerken, daß zwei Hauptwirkungen der Atmosphäre auf die passierenden Sonnenstrahlen zu unterscheiden sind: Selektive Absorption und Extinktion.

Die selektive Absorption führt zu einem Verlust der Strahlenenergie unter Übergang in andere Energieformen, nämlich in thermische und chemische. Vor allem führt sie zu einer Abschwächung im Ultrarot und in geringem Maße im Ultraviolett.

Die Extinktion beruht auf der Ablenkung der Strahlen aus der geraden Richtung durch Beugung, Brechung, spiegelnde und diffuse Reflexion. Verursacht wird sie durch die Gasmoleküle als solche und durch die in der Luft schwebenden Staub- und Rauchpartikelchen.

Beim Durchgang der Sonnenstrahlen durch die Erdatmosphäre kommt es also zur Abschwächung der Gesamtenergie, vor allem jedoch zu einer Abschwächung der ultravioletten Strahlen. Die Abschwächung der Gesamtenergie beträgt auf höchster Berghöhe ca. 20%, in der Ebene ca. 50%.

Durch all diese Umstände erklärt sich auch der Einfluß der Tageszeiten auf Intensität und spektrale Verteilung des Sonnenlichtes. Somit wäre die höchste Intensität in der Mittagszeit zu erwarten, da hier die

Wegstrecke von der Sonne zur Erde am kürzesten ist. Hier wirkt aber bei kräftiger Bestrahlung des Erdbodens der sich entwickelnde Auftrieb entgegen, so daß zwei Intensitätsmaxima vorhanden sind und zwar nur vor und nach der Mittagszeit (Jodlbauer). Ferner hat auch die Jahreszeit auf die spektrale Zusammensetzung der Sonnenstrahlen einen großen Einfluß. Nach den Untersuchungen von K. Dorno in Davos ist die Intensität der ultravioletten Strahlen gegenüber derjenigen der Wärmestrahlen im Winter gering, erreicht im Sommer den höchsten Grad und fällt im Herbst wieder ab.

Als direkter Einfluß des Mediums bei Bestrahlungseffekten ist es auch zu bezeichnen, wenn sich auf der Oberfläche des Objektes selbst irgendwelche Substanzen befinden, die den Strahlengang beeinflussen (z. B. Kleidung, die natürliche Fettschicht auf der Hautoberfläche). Endlich ist es als Wirkung des Mediums ferner zu bezeichnen, wenn eine Lichtreaktion an die Anwesenheit von Sauerstoff im Medium gebunden ist. Die Lichtwirkung photodynamischer Substanzen tritt z. B. ausschließlich bei Gegenwart von Sauerstoff auf, während sie in sauerstofffreier Atmosphäre nicht zustande kommt.

4. Das biologische Objekt selbst zu seinem Verhalten zum Licht. In den vorstehenden Zeilen wurde darauf hingewiesen, daß das Medium zwischen Lichtquelle und Objekt sich den verschiedenen Strahlen gegenüber verschieden verhält, manche Strahlen passieren läßt, andere wiederum abhält. In gewissem Sinne wiederholt sich nun derselbe Vorgang wieder, wenn die Strahlen auf das Objekt auftreffen. Nun beginnt von neuem Extinktion und Absorption sich in den verschiedenen Geweben des Körpers geltend zu machen. Dabei ist es wesentlich, ob die Strahlen zu dem für sie empfindlichen Gewebe zu dringen vermögen oder nicht. In diesem Sinne ist die Körperoberfläche auch als Filter anzusehen, welches in einer großen Reihe von Fällen dem Lichtschutz dient.

Es hängt dabei von dem Grotthuß-Draperschen Absorptionsgesetz ab, ob die Lichtstrahlen in irgendeinem Gewebe wirken können. Es können nur diejenigen Strahlen eine Wirksamkeit entfalten, die von den betreffenden Geweben absorbiert werden. Dabei hängt es ganz von der Natur des betreffenden Gewebes ab, wie weit die verschiedenen Spektralanteile durchzudringen vermögen. Andererseits vermögen die längerwelligen Lichtstrahlen tiefer in einen organischen Körper einzudringen als die kurzwelligeren. Es gilt daher das Gesetz: Je größer die Wellenlänge, um so tiefer dringen die Lichtstrahlen in das Gewebe ein, je geringer die Wellenlänge, um so geringer ist ihre Penetrationskraft und um so mehr werden sie absorbiert. Ebenso wie die kurzwelligere, unsichtbare Strahlung, erfährt aber auch die dunkle Wärmestrahlung gesteigerte Absorption im Körper.

Man ist im allgemeinen geneigt, die Lichtdurchlässigkeit des tierischen

bzw. des menschlichen Körpers für eine recht geringfügige zu betrachten. Dies gilt aber nur mit gewissen Einschränkungen. Bei genügender Lichtintensität können langwellige Strahlen in ziemlich erhebliche Tiefe des Körpers eindringen. Auch die Penetrationskraft der kurzwelligen Strahlenbezirke ist keine so außerordentlich kleine, wie vielfach angenommen wird. Die weitgehende Durchlässigkeit der menschlichen Haut für rote Strahlen ist ohne weiteres leicht festzustellen. Blickt man mit geschlossenen Augen in die Richtung einer starken Lichtquelle, so sieht man das Rot der Augenlider.

G. Busck (Finsens Mitt. H. 4, 1903) erhielt mit konzentriertem Sonnenlicht Wirkung auf isochromatische Platten, wenn die Strahlen die 2,8 cm dicke Hand passiert hatten. Konzentriertes Licht einer Kohlenbogenlampe von 70 Amp. und 50 Volt wirkte durch die Mitte der Hand (2,8 cm) in einer Sekunde, durch das Handgelenk in vier Minuten auf empfindliche Platten. Vergleichende Untersuchungen über die relative Penetrationsfähigkeit in den verschiedenen Spektralgebieten ergab in den Versuchen von Busck (zit. bei Hausmann), daß die Kurve des Durchdringungsvermögens der verschiedenen Strahlenarten durch ein blutgefülltes Kaninchenohr vom äußersten ultraviolett, wo die Penetrationsfähigkeit sehr gering ist, durch die inneren ultravioletten und den sichtbaren Teil des Spektrums ansteigt, und daß dieser Anstieg sich etwa im ultraroten Teil fortsetzt. Hier wäre das Maximum für die Penetrationsfähigkeit der Lichtstrahlen zu suchen. Im äußeren Teil des ultraroten fällt die Kurve wiederum ab.

Der Einfluß der Dicke der Haut auf die Penetrationskraft der Strahlen ist aus folgender Tabelle Hasselbachs (Skand. Arch. 25, 55, 1911) zu ersehen:

Dicke der Hautschicht	436 μμ	405 μμ	366 μμ	334 μμ	313 μμ	302 μμ	297 μμ	289 μμ
0.1 mm	59%	55%	49%	42%	30%	8%	2%	0.01%
0.5 mm	7.0%	5.0%	3.0%	1.3%	0.3%	—	—	—
1.0 mm	0.5%	0.3%	0.08%	0.02%	0.006%	—	—	—

Die zunehmende Dicke der Hautschicht vermehrt, wie aus der Tabelle hervorgeht, sehr stark die Absorption der Lichtstrahlen.

Für die Durchlässigkeit der verschiedenen Spektralbezirke des Lichtes sei folgende Tabelle (Christen: Strahlentherapie Bd. 9, 1919) wiedergegeben. Hier wurde für das Maß der Penetrationsfähigkeit die Halbwertschicht benützt, worunter man diejenige Dicke der absorbierenden Schicht versteht, welche von der Strahlung gerade die Hälfte absorbiert.

In der ersten Spalte sind die einzelnen Farben angeführt. Die dazu gehörigen Wellenlängen sind in der zweiten Spalte enthalten, während die dritte Spalte die Halbwertschichten in der Haut zeigt. In der vierten

und fünften Spalte stehen die Zahlen, die angeben, auf welchen Betrag jede einzelne Farbe durch Hautschichten von 0.1 mm und 0.2 mm geschwächt wird:

Strahlengattung	Wellenlänge in μμ	Halbwertschicht in d. Epidermis	Schwächung durch Absorption	
			in 0.1 mm Epidermis auf:	in 0.2 mm Epidermis auf:
Rot	650	154	65%	42%
Orange	620	146	62%	38%
Grün	520	137	60%	36%
Blau	450	129	58%	33%
Violett	436	131	59%	35%
„	405	116	55%	30%
Lavendelgrau	336	97	49%	24%
„	334	80	42%	18%
Ultravio. I	313	58	30%	9%
„	302	27	8%	0.65%
„	297	18	2%	0.04%
Ultravio. II	289 und weniger	7.50 und weniger	0.001% und weniger	0.000 001% und weniger

5. Die Umgebung des biologischen Objektes:

Als kurzes Beispiel einer derartigen Umgebungswirkung sei das Verhalten der menschlichen Haut im Hochgebirge auf Schnee und Eis oder auf felsigem Gebiete angeführt. Auf Schnee und Eis wird die Hautreaktion schneller erfolgen als auf Felsen. Der Grund hierfür ist in der verschieden starken Reflexion des kurzwelligen Lichtes, das vom Felsen viel weniger reflektiert wird als von Schnee und Eis, gegeben. Hausmann spricht hier von einer „indirekten Lichtquellenverstärkung". Es wäre auch nicht ausgeschlossen, daß es sich hierbei vielleicht um eine Polarisation des Lichtes handelt.

Da jede Strahlenwirkung auf Absorption beruht, ist auch die Farbe des jeweilig bestrahlten Körpers für das Zustandekommen dieser von entscheidender Bedeutung. Die sichtbare Strahlung ist bekanntermaßen durch ihre „Färbung" charakterisiert, die andererseits wieder eine Funktion der Wellenlänge ist. Wie bereits erwähnt, ist in chemischer Beziehung die Wirkung um so intensiver, je kleiner die Wellenlänge ist. Somit zeigen die ultravioletten Strahlen viel höhere Wirkung als die roten und gelben. Diese Tatsache leitet sich vor allem aus der Farblosigkeit der bestrahlten Körper her (Pincussen). Es kommen also für die farblosen Stoffe im wesentlichen nur die ultravioletten Strahlen in Frage, im übrigen richtet

sich sinngemäß die Einwirkung der Strahlen des sichtbaren Spektrums nach der Färbung des bestrahlten Körpers. Hieraus ergibt sich als klare Folgerung der Einfluß farbiger Strahlen auf eine Reihe biologischer Vorgänge, der unter Umständen den Einfluß der kurzwelligen Strahlung vollständig ausschaltet. Als eines der besten Beispiele hierfür sei die photochemische Synthese des Chlorophylls der grünen Pflanzen genannt.

Ein weiterer wesentlicher Punkt der Strahlenwirkung ist die Dauer der Belichtung. Die Bunsen-Roscoesche Reziprozitätsregel, laut welcher der Lichteffekt innerhalb gewisser Grenzen dem Produkte von Lichtintensität (i) und Expositionszeit (t) gleich ist und somit i und t reziproke Werte für denselben Effekt darstellen, hat ebenso in der Photographie wie auch in der Lichtbiologie Gültigkeit. Bei sehr starker Belichtung erweist sich an der Brom- oder Silbergelatineplatte die Formel: Effekt $= i \cdot t$ als nicht mehr zutreffend, und man erhält durch Steigerung der Lichtintensität unverhältnismäßig größere Effekte (Jodlbauer). Diese Tatsache wird durch die Formel: Effekt $= i^q \cdot t$ ausgedrückt, wobei q der sogenannte Schwarzschildsche Exponent ist, der für photographische Platten einen Wert von 1.1—1.8 hat. Das gleiche gilt auch für die Verhältnisse an der lebenden Zelle. Auch hier wird z. B. die dreifach größere Lichtintensität nicht durch eine dreifach verkürzte Belichtungszeit ausgeglichen. Nach den Messungen verschiedener Autoren beträgt der Wert des Schwarzschildschen Exponenten für die menschliche Haut annähernd 2.0.

Bei der Belichtung eines Objektes kann der Erfolg dieser, sei es eine Veränderung des Objektes in irgendwelcher Art, sofort oder erst auch nach einer gewissen Zeit eintreten. In der Photochemie bezeichnet man die Zeit, die vom Beginn der Bestrahlung bis zum Einsetzen der Wirkung verstreicht, als photochemische Induktion (Latenzzeit). Entsprechend dieser bezeichnet man die Latenzzeit bei Belichtung lebender Objekte als photokinetische Induktion. Während man aber an chemischen Systemen den Beginn des Wirkungseintrittes genau feststellen kann, ist dies bei der lebenden Materie nicht möglich. Denn es kann längst eine Beeinflussung der Zelle vorhanden sein, bevor sie sich uns in irgendeiner Form zu erkennen gibt. So läßt sich z. B. bei geeigneter Versuchsanordnung an belichteten Erythrocyten eine Latenzzeit von zwei Tagen nachweisen bis Hämolyse eintritt (Hausmann). Es ist allerdings daran zu denken, daß die Reaktion schon lange begonnen haben mag, bis sie nach außenhin sichtlich in Erscheinung tritt. Als bekanntestes Beispiel einer medizinischen wichtigen Lichtreaktion, die an eine gewisse Latenzzeit gebunden ist, sei die Entzündung der menschlichen Haut nach Bestrahlung mit kurzwelligem Licht genannt. Ein Zusammenhang zwischen der Wellenlänge des Lichtes und der Latenzzeit besteht insofern, daß kurzwellige Strahlen mehr zu Latenzperiode neigen als langwellige Strahlen.

Bei den Nachwirkungen des Lichtes handelt es sich meist um die Bildung eines Zwischenproduktes, das, einmal gebildet, weiterwirkt. Bei

Belichtung biologischer Objekte beruht die Nachwirkung in ähnlicher Weise auf den durch das Licht gesetzten Veränderungen im Protoplasma, die einmal eingeleitet sich weiter ausbilden. Man kann dies unschwer an gewaschenen, in physiologischer Kochsalzlösung suspendierten roten Blutkörperchen beobachten. Setzt man sie nur so lange einer Belichtung aus, daß sie noch keine Spur von Hämolyse zeigen, und dann ins Dunkle gebracht, so hämolysieren sie viel rascher als solche, die nicht vorbelichtet waren. Ammoniumsulfat gibt in einer vorbelichteten Eiweißlösung eine stärkere Fällung als in einer dunkel gehaltenen.

Die allgemeine Wirkung der Strahlen ist wohl eine Wärmewirkung, denn alle Strahlen von 100 μμ bis 60 000 μμ können bei ihrer Absorption in Wärme umgewandelt werden. Man kann jedoch annehmen, daß sowohl den sichtbaren als auch den ultravioletten Strahlen noch eine besondere Wirkung zukommt. Der Wirkungsmechanismus des Lichtes stützt sich teils auf physikalische, teils auf chemische Grundlagen.

Bei der Frage der biologischen Lichtwirkung geht man am besten von der Photochemie aus; denn der Umstand, daß die lichtbiologischen Reaktionen in ihren Grundlagen nach den Gesetzen der Photochemie verlaufen, bedarf ebensowenig einer Erörterung wie die Frage, ob die Verdauungsvorgänge den Gesetzen der Chemie Folge leisten. Es kann sich hier nur darum handeln, ob diese Gesetze auch unter biologischen Bedingungen klar nach außen in Erscheinung treten. Bei den photobiologischen Reaktionen ist dies jedoch sicher der Fall. (Pincussen.)

Alle Lichtprozesse gehen, wie bereits erwähnt, nach dem Grotthuß Draperschen Absorptionsgesetz nur dann vor sich, wenn die Lichtstrahlen in dem Medium, in dem sie wirken sollen, absorbiert werden. Ohne Absorption ist eine chemische Lichtwirkung unmöglich, doch sei damit nicht gesagt, daß mit jeder Absorption eine chemische Reaktion verbunden sein muß. Viel häufiger setzt sich absorbiertes Licht in Wärme um. Hauser und Vahle (Strth. 13, 1921) haben darauf hingewiesen, daß nicht alle Lichtstrahlen, die absorbiert werden, auch eine chemische Wirkung zur Folge haben. Sie betonen, daß biologische Strahlenwirkung nicht etwa energetisch durch die eingestrahlte Energie bedingt ist. So ist die Erythembildung in der Haut, die auf Strahlenwirkung erfolgt, ein ausgesprochener Auslösungsvorgang.

Die physikalischen Anschauungen über den Wirkungsmechanismus des Lichtes fußen auf den in der Physik häufig beobachteten Änderungen des elektrischen Zustandes fester Körper, Gase und salzhaltiger Lösungen bei Absorption strahlender Energie.

Wird ein fester Körper belichtet, so werden von dessen Oberfläche Elektronen in den ihn umgebenden Gasraum emittiert und führen so zu einer Ionisierung der Gase (Hallwachs-Effekt) (F. Dessauer). Es sind somit nicht die Wellenstrahlen das Wirksame, sondern die von ihnen bei der Absorption aus der Materie ausgesandten Elektronen. Der ganze Vorgang ent-

spricht mehr einer optischen Sensibilisierung. Bei dem Vorgang der Sensibilisierung geht das wirksame Elektron vom Sensibilisator aus, die Stätte seiner Wirkung ist aber das dem Sensibilisator dicht benachbarte Molekül der Zelle. Man kann sich die Wirkung des Elektrons auf die Zelle wohl als eine chemische vorstellen. Wolfers (zit. bei F. Dessauer) stellt die Hypothese auf, daß beim Zusammenstoßen ionisierter oder auch nur angeregter Atome eine neue weiche Strahlung entsteht, welche nun chemisch auf die Zelle wirken soll.

Es sei ferner auf den Becquerell-Effekt hingewiesen: Tauchen zwei unter sich mit einem Galvanometer verbundene Leiter erster Ordnung in einen Leiter zweiter Ordnung, so entsteht bei der Belichtung der einen Elektrode ein elektrischer Strom. Über die Ursache der Änderung des Elektrodenpotentials sind die Meinungen verschieden. Die einen (H. Scholl u. J. Brodsky Annal. d. Physiol. Bd. 44, 1914) nehmen an, daß aus den lichtempfindlichen Molekülen Elektronen frei werden, die von der Elektrode aufgefangen werden. Es wäre somit der Becquerell-Effekt dem Hallwachs-Effekt gleichzusetzen. Die anderen (Bauer, Staechelin, Ztschr. f. physik. Chemie Bd. 24, 1920) vermuten, daß der primäre Vorgang in einer photochemischen Modifikationsänderung des lichtempfindlichen Stoffes bestehe und daß die stofflichen Neubildungen ihr besonderes Oxydations- und Reduktionspotential der Elektrode mitteilen. Das Molekül eines chemisch-lichtempfindlichen Stoffes würde also durch Absorption vom Licht gewissermaßen in einen Zustand elektrischer Polarisation übergehen, durch den eine nach außen wirkende Voltasche Potentialdifferenz entsteht (E. Bauer, Ztschr. f. Elektrochemie Bd. 25, 1919).

In der lebenden Zelle können solche Änderungen des elektrischen Zustandes als möglich angenommen werden. Die weitere Frage ist, wie die freiwerdenden Elektronen sich weiter auswirken.

Jodlbauer sieht die Wirkung der Strahlen in einer Änderung der Ionisierung. In Lösungen jedoch läßt sich diese nicht mit Sicherheit nachweisen, vermutlich deshalb, weil in Lösungen sich die Ionen — im Gegensatz zu ihrem Verhalten im Gasraum — nicht weit genug voneinander entfernen können, um nicht außerordentlich rasch durch die rückanziehende Kraft sich wieder zu vereinigen (Dessauer).

Die Atome, die sich in einem stabilen Zustand befinden, werden von den Elektronen in einen energiereicheren, den sogenannten angeregten, Zustand übergeführt. Durch Zusammenstoßen dieser angeregten Atome mit den Nachbaratomen wird Wärme frei und in dieser sieht Dessauer (Strth. Bd. 16, 1924) die Ursache jeglicher Strahlenwirkung. Diese Temperaturerhöhung findet — entsprechend den Zusammenstößen — an außerordentlich kleinen Punkten statt, und Dessauer gibt ihr daher den Namen „Punktwärme". Eine biologisch wirksame Erwärmung durch Bestrahlung allein kann nicht in Frage kommen, denn dazu ist die absorbierte Strahlenenergie viel zu klein. Durch eine mehrstündige Bestrahlung eines Körpers

werden von diesem im ganzen nur einige Grammkalorien absorbiert. Es muß also in dem Ablauf der Ereignisse eine Stelle sein, wo die winzige Energiemenge eine ungeheuer hohe biologische Wirkung entfaltet. Sie muß demnach eine Form annehmen, wo sie ähnlich einem sehr starken Gift wirkt. Denn es ist bekannt, daß nur sehr geringe Energiemengen nötig sind (sie beträgt nur wenige Grammkalorien), die zu einer schweren Schädigung eines Gewebes führen. Diese Stellen sind diejenigen, wo die Moleküle einen mechanischen Antrieb erleiden und so die eingestrahlte Energie in eine andere Form transformieren, nämlich in die der Wärme. Nach den Berechnungen Dessauers kann die Punktwärme so hoch sein, daß Eiweißmoleküle koagulieren. Somit wird an einer kleinsten Stelle der Zelle eine schwere Veränderung gesetzt, von der das weitere Geschehen in der ganzen Zelle abhängt.

Die physikalischen Vorstellungen können noch eine andere — primär wohl ebenfalls auf Elektronenbildung beruhende — Lichtwirkung anknüpfen: die Änderung des Kolloidzustandes durch Verminderung des Dispersitätsgrades bis zur Auflockerung (Jodlbauer). Auf die Farbveränderungen kolloiden Silbers bei ultravioletter Bestrahlung hat zuerst Carey-Lea hingewiesen. Kolloidale Lösungen von Metallen werden durch die Einwirkung von Licht zur Koagulation gebracht. Diese koagulierende Wirkung ist von dem Ladungssinn der Teilchen unabhängig. Als Ursache nimmt Nordenson (zit. bei Jodlbauer) eine Störung des Adsorptionsgleichgewichtes am Kolloid (Veränderung der Dissoziation der adsorbierten Elektrolyte oder Adsorption der bei der Spaltung des Wassers intermediär gebildeten H und OH' oder ähnliches) an. Hierher gehören auch die Beobachtungen von W. T. Bovie (zit. bei Jodlbauer): Gerinnung des Eialbumins durch ultraviolette Strahlen. R. Monds (zit. bei Jodlbauer) konnte bei ultravioletter Bestrahlung von Albumin und Globulinlösungen eine Verschiebung der H-Konzentration nach der sauren Seite nachweisen. Nach Chr. Kroetz (zit. bei Jodlbauer) erfolgt auch in vivo das Auftreten saurer Eiweißprodukte im Blut. Die Acidose, verbunden mit Hypokapnie und Zunahme des Anionendefizites im Serum ist jedoch nur eine flüchtige Erscheinung. Nach 1—2 Stunden geht die Acidose in Alkalose mit Hyperkapnie über. Es ist anzunehmen, daß die Zunahme der Acidität nicht auf dem Abbau der Eiweißmoleküle beruht, sondern auf intramolekularer Umlagerung.

Die chemischen Erklärungsversuche stützen sich auf die Veränderungen, die die isolierten Zellstoffe im Lichte erfahren. Auch die photochemischen Reaktionen sind aber nur die Folge der physikalischen Lichtwirkung: Überführung des Moleküls in den erregten Zustand durch Elektronen. Es wird somit Energie aufgenommen und müssen daher die im Lichte gebildeten Stoffe energiereicher sein, als die Ausgangsstoffe. Wenn die sich schließlich ergebenden Endprodukte energieärmer sind, so hängt dies mit sekundären, auch im Dunkeln eintretenden Reaktionen zusammen, die somit in keinem Zusammenhang mehr mit der Lichtwirkung stehen.

A. Benrath (zit. bei Hausmann) hat die verschiedenen Typen photochemischer Prozesse in vier Gruppen eingeteilt: Photosynthesen, Photoisomerisation und Photopolymerisation, sowie Photooxydation und Photoreduktion. Benrath hat auch darauf hingewiesen, daß in einem Gemisch mehrerer Substanzen derartige Reaktionen mehrfach nebeneinander verlaufen können, so daß manchmal ein unentwirrbares Gemenge von Reaktionsprodukten entsteht. Die Wirkung kurzwelliger Strahlen äußert sich mehr in Photolyse als in Synthese. Hierdurch findet die zerstörende Wirkung der ultravioletten Strahlen leicht ihre Erklärung.

Man hat die verschiedenen Typen photochemischer Prozesse nach biologischen Gesichtspunkten in folgende fünf Klassen eingeteilt. In eine dieser Gruppen sind auch alle biologischen Lichtreaktionen einzubeziehen, wenngleich die Zugehörigkeit zu einer dieser Gruppen nicht deutlich in Erscheinung tritt:

1. Langsam verlaufende Lichtwirkungen: Hier sei z. B. nur das Ausblassen der Farben an Licht, das Verschießen von Kleiderstoffen genannt. Hierbei handelt es sich meist um Oxydationen nämlich durch die Bildung von Wasserstoffsuperoxyd und organischen Peroxyden. Ferner kommen Spaltungen in Betracht, z. B. der Zerfall belichteten Azetons in Methan und Essigsäure.

2. Momentane Lichtwirkungen: Hierher sind die Vorgänge bei der Photographie zu rechnen. Biologisch sind es die rasch einsetzenden photodynamischen Lichtwirkungen, sowie die augenblicklich erfolgende bakterizide Wirkung konzentrierten kurzwelligen Lichtes.

3. Lichtwirkungen unter dem Einfluß von Sensibilisatoren: Die Wirkung der Sensibilisatoren fällt naturgemäß in die Wirkungsphase bis zur Bildung des Primäreffektes. Sobald dieser gebildet ist, spielen sie, analog dem Licht, keine weitere Rolle mehr, da nun vom Primäreffekt allein die weiteren Reaktionen ausgelöst werden. Bekanntlich verlaufen die meisten Lichtreaktionen nur unter der Anwesenheit von Sauerstoff und muß so die Fluoreszenz der Sensibilisatoren als Bedingung ihrer Wirksamkeit auf biologische Objekte gelten. Bei den ultravioletten Strahlen ist es jedoch fraglich, ob hier die Wirkung durch fluoreszierende Substanzen verstärkt werden kann (F. Haffner). Als bekanntestes Beispiel diene hier die Wirkung des Chlorophylls der Pflanzen bei der Kohlensäureassimilation, ferner die lichtübertragende Wirkung von Farbstoffen unter pathologischen Verhältnissen. Was den Wirkungsmechanismus betrifft, ist Katalyse durch Zwischenreaktion anzunehmen, wobei die Zwischenreaktion durch Bestrahlung in Gang gebracht wird. Oxalsäure wird z. B. unter Sauerstoff bei Gegenwart von Methylenblau im sichtbaren Licht oxydiert, ohne daß dabei das Methylenblau eine Veränderung erfährt. Ohne Sauerstoff dehydriert die Oxalsäure, wobei das Methylenblau zu Leukobase

reduziert wird. Bei nachträglicher Zufuhr von Sauerstoff wird die Leukobase wieder zu Farbstoff oxydiert. Während die zweite Phase auch im Dunklen abläuft, kommt die Dehydrierung der Oxalsäure durch Methylenblau nur unter der Einwirkung des Lichtes zustande.

4. Katalytische Reaktionen des Lichtes: Viele photochemische Reaktionen verlaufen nur bei Anwesenheit eines Katalysators (z. B. Eisen, Mangan, Uran und andere Schwermetalle). Benzoesäure und eine beliebige Eisenverbindung verändern sich im Dunkeln weder einzeln noch im Gemisch. Wird jedoch die Mischung belichtet, so wird Benzoesäure sehr schnell in Salizylsäure umgewandelt. Die wichtigsten Baumaterialien der Organismen, die Eiweißkörper, Fette und Zuckerarten werden durch die genannten Mineralstoffe in hohem Grade lichtempfindlich gemacht. Sie ergeben bei direkter Besonnung, aber auch im zerstreuten Tageslicht, Veranlassung zur Bildung besonders reaktionsfähiger Spaltungs- und Abbauprodukte.

5. Die photochemische Umlagerung: Es gibt Lichtreaktionen, die weder in Spaltung noch in Synthese bestehen, sondern die eine Umlagerung, Isomerisation oder Polymerisation der bestrahlten Körper ohne Änderung der Bruttozusammensetzung bedingen. Als bekanntestes Beispiel sei hier die Umwandlung des gelben in den roten Phosphor genannt.

Die Strahlenbeeinflussung biologischer Objekte wird durch die Einwirkung der Strahlen auf definierte chemische in dem beeinflußten Objekt enthaltene Substanzen, welche die Strahlen absorbieren, vermittelt. Mit der Absorption der Energie und ihrer Transformierung bis zu einer greifbaren physikalischen oder chemischen Veränderung des absorbierenden Substrates, die man als photogenetischen Primäreffekt (F. Haffner) bezeichnen kann, ist die eigentliche Strahlenwirkung spätestens beendet, alles weitere sind Folgeerscheinungen dieses Primäreffektes. Einerseits sind es Wirkungen, die in einem kausalen Zusammenhang mit dem Primäreffekt stehen, andererseits Wirkungen reaktiver Natur, die infolge der Zwischenschaltung „eigenwilliger" Zellen, wie Haffner sie bezeichnet, nach ihren kausalen Beziehungen heute noch nicht zu analysieren und auch in ihrem Ausmaße mehr oder weniger unberechenbar sind, bei denen daher auch keine Proportion zu der absorbierten Energie vorhanden zu sein braucht.

Allgemein kann man die Strahlenwirkung als einen Reiz ansehen und mit Mangold (zit. bei Ellinger) bezeichnen wir als Reiz jede äußere Veränderung, die auf eine lebende Substanz so einzuwirken vermag, daß diese mit Veränderungen, die an den direkt bestrahlten Zellen hervorgerufen werden, reagiert.

Bezüglich der Strahlenwirkungen unterscheidet man je nach der Intensität des einwirkenden Reizes:

1. Reversible Wirkungen: Man versteht darunter Veränderungen des Gewebes, die nur vorübergehender Art sind, also zu einer völligen Wiederherstellung des früheren Zustandes führen.

2. Bedingt reversible Wirkungen: Hierbei verschwinden scheinbar die durch Bestrahlung hervorgerufenen Veränderungen und es nun bei einer wiederholten Bestrahlung nicht wieder zur Herstellung des früheren Zustandes kommt.

3. Irreversible Veränderungen: Hier kommt es nach der Bestrahlung nicht mehr zur Wiederherstellung des früheren Zustandes. Die durch den Reiz gesetzten Veränderungen bleiben bestehen bzw. entwickeln sich sogar noch weiter.

Im Anschluß an die Erörterungen über die Beziehungen photochemischer Prozesse zur Photobiologie seien die Wirkungen des Lichtes auf einige Objekte zu besprechen, die am Aufbau und am Geschehen des Körpers in erster Linie beteiligt sind.

Wirkung des Lichtes auf die Zelle:

Bei Bestrahlung von Einzelzellen begegnet man vielfach einem bekannten Wirkungstypus: Hemmung bis Destruierung durch hohe, Förderung bzw. Auslösung physiologisch gegebener Funktionen durch niedere Intensität. Die hemmenden und destruktiven Wirkungen äußern sich in ganz unspezifischer Weise; in Ruhigstellung von Strömungen des Protoplasmas, von Flimmerbewegungen und amöboiden Bewegungen, in Teilungshemmung, Fällung des Zelleiweißes, Hämolyse usw. Förderungswirkungen durch kleine Intensitäten werden erklärlicherweise nur bei gewissen Zellen beobachtet; so geht der Hemmung der Zellteilung eine Förderung voraus, der Abtötung von Samen eine Anregung zur Keimung. F. Haffner fand für die Förderung der Zellteilung zwei Maxima, und zwar bei 340 $\mu\mu$ und 280 $\mu\mu$. Diese Förderungswirkung ist nicht nur eine Eigentümlichkeit der Strahlen, sie wurde auch bei vielen anderen Agentien beobachtet. Haffner faßt sie als eine reaktive Erscheinung von seiten gewisser mit Selbstregulation ausgestatteten Zellen auf. Sicher sind nicht alle beobachteten Förderungen reaktiver Natur, so könnte die Steigerung der Glykose des Blutes nach Bestrahlung einfach Folge einer Zellzerstörung und des dadurch erfolgten Austrittes des glykolitischen Fermentes sein und die Steigerung der Oxydationsvorgänge von Zellen nach Bestrahlung könnte auf der vom Leben der Zelle vollständig unabhängigen Autooxydation lipoider Stoffe beruhen. Echte Reaktionen spielen bei dem umfangreichen Tatsachenmaterial der Phototaxie und des Phototropismus eine physiologisch wichtige Rolle. Der reaktive Charakter der Vorgänge zeigt sich vor allem darin, daß bei derselben Strahleneinwirkung nicht nur verschiedenerlei Zellen, sondern auch dieselbe Zellenart, je nach ihren inneren Bedingungen, ganz entgegengesetzt reagieren kann. Da auch bei den

Phototaxie zeigenden Zellen mit zunehmender Strahlenintensität alle Übergänge von der Auslösung der physiologischen phototaktischen Reaktion bis zur Zerstörung der Zelle zu beobachten sind, so ist es das einfachste anzunehmen, daß auch für die phototaktische Reaktion der erste, noch reparable Anfang einer Zellschädigung das Auslösungsmoment darstellt. Es fügt sich dieses Verhalten einem offenbar allgemeinen Organisationsprinzip der lebenden Systeme: irreversible physikalische und chemische Vorgänge in reversible biologische Funktionen zu transformieren.

Als Ursache der unspezifischen Zellschädigung kommen verschiedene Vorgänge in Frage. Vor allem beruht die Zellschädigung auf einer Denaturierung des Eiweißes. Dabei hängt es ganz von der Absorption des Wirkungssubstrates ab, wo der Primäreffekt der Eiweißdenaturierung gesetzt wird. So kann er am Kern, am Protoplasma oder an der Zellmembran lokalisiert sein.

Das durch Licht koagulierte Eiweiß sieht rein äußerlich genau so aus wie das bekannte Wärmekoagulat des Eiweißes. Jedoch besteht ein Unterschied insofern, daß das Wärmekoagulat durch bestimmte physikochemische Maßnahmen leicht wieder in Lösung gebracht werden kann, während das Strahlenkoagulat irreversibel ausgefällt wird (Spiegel).

Da der Zellkern der strahlenempfindlichste Teil der Zelle ist, setzt auch hier zuerst die Wirkung ein. Zunächst kommt es zur Zytolyse, die durch die Pyknose des Zellkerns (Verklumpung des Chromatins) gekennzeichnet ist. Daran schließt sich der Kernzerfall (Karyorrhexis). Die Zerfallsprodukte verteilen sich im Protoplasma, wo sie als verschieden große Körnchen sichtbar werden. Im Verlauf der Zytolyse verflüssigt sich der Zelleib unter Vakuolenbildung bis schließlich nur mehr Chromatintrümmer übrigbleiben.

Vor allem kommt es im Verlauf der Zellschädigung zu einer Ernährungsstörung. Es finden sich, je nach der Art der Zelle, fettige, schleimige oder amyloide Degeneration. Endlich sei noch die Koagulationsnekrose erwähnt, die aber als eine unspezifische Strahlenwirkung aufzufassen ist, da sie in gleicher Weise auch durch Wärmeleitung entstehen kann.

Ellinger weist darauf hin, daß die Strahlenempfindlichkeit der Zelle jedoch auch von verschiedenen Faktoren abhängt. So ist maßgebend ihre Differenzierung sowie ihr Aktionszustand (Stadium der Zellteilung oder der Ruhe). Die hohe Strahlenempfindlichkeit der in Teilung begriffenen Zellen ist ein Befund, der an allen Geweben, normalen wie pathologischen, erhoben worden ist. Die Strahlenempfindlichkeit beginnt (bei der Teilung) bereits in der Prophase und ist am ausgeprägtesten im Stadium der Äquatorialplatte. Weiterhin zeigt jede Zelle eine Erhöhung der Strahlenempfindlichkeit, wenn ihr Zellstoffwechsel gesteigert ist. Ein erhöhter Zellstoffwechsel findet sich immer bei verstärkter Durchblutung und ist somit die erhöhte Strahlenempfindlichkeit bei entzündlichen Prozessen zu erklären. Vielfach wird auch eine Erhöhung des Quellungszustandes der

Kolloide für die Steigerung der Strahlenempfindlichkeit verantwortlich gemacht.

Neben diesen unspezifischen Strahlenwirkungen sind aber auch noch streng spezifische bekannt, auf welche später noch näher eingegangen werden soll. Es können jedenfalls durch Strahlung im Organismus sehr verschiedene Primäreffekte gesetzt werden. Jede spezifische Strahlenwirkung hat ihren eigenen spezifischen Primäreffekt; für das Gros der beobachteten Lichtwirkungen auf den tierischen Organismus stellt offenbar die Eiweißdenaturierung den gemeinsamen unspezifischen Primäreffekt dar (Haffner).

Die Einwirkung der Strahlen auf Zellkomplexe ist jedoch schwer zu beurteilen. Es finden sich hier außer den Vorgängen in der Zelle selbst, die ebenso wie die oben geschilderten direkt durch Lichteinwirkung bedingt sein können, vor allen Dingen solche statt, die erst als sekundäre Prozesse gewertet werden dürfen. Wahrscheinlich geht ein großer Teil über das Nervensystem, es treten erhebliche Blutverschiebungen auf, die möglicherweise ebenfalls nervös bedingt sind, in vielen Fällen aber durch eine Umwandlung der zugeführten Strahlenenergie in Wärmeenergie entstehen dürften. Wie der Mechanismus der Zellschädigung hier abläuft, ist schwer zu sagen. Charakteristisch scheinen bei starker Wirkung Nekrosen zu sein und Infiltrationen der geschädigten Teile mit gewissen Zellarten.

Beeinflussung der Zellteilung:

Durch zerstreutes Tageslicht wird die Zellteilung nicht beeinflußt. Eine stark hemmende Wirkung üben die ultravioletten Strahlen aus, die bisweilen auch bei sichtbaren Strahlen beobachtet wurde. Der Hemmung folgt jedoch später eine Beschleunigung. Während die ultravioletten Strahlen hemmend wirken, wirken die ultraroten Strahlen fördernd auf die Zellteilung, vorausgesetzt, daß sie nicht durch zu hohe Intensität die Zelle schädigen.

Wirkung auf den Stoffwechsel:

Während für den Stoffwechsel der Pflanze das Licht von entscheidender Bedeutung ist, scheint es im tierischen Stoffwechsel eine untergeordnetere Rolle zu spielen. Die Steigerung des Sauerstoffverbrauches und die Erhöhung des Ventilationseffektes beim Menschen wurde von verschiedenen Autoren bei Bestrahlung mit künstlichen Lichtquellen, wie bei der Bestrahlung am Meere und in der Höhe sichergestellt. Die Wirkung kommt den ultravioletten Strahlen zu. Diese Steigerung wird unterdrückt, wenn bei vermehrter Außentemperatur sich die Wärmeregulation in Herabsetzung der Verbrennungsvorgänge geltend macht. Zu einer sofortigen Steigerung jedoch kommt es, wenn chemisch wirksame Strahlen die Haut treffen. G. Revecy (Bioch. Ztschr. 1912, 44) beobachtete an kurarisierten

Hunden eine Zunahme des Sauerstoffverbrauches durch intermittierende Belichtung. Dieselben Ergebnisse fand man auch nach Durchschneidung des Rückenmarkes. Hans Meyer führt die Erhöhung des Grundumsatzes auf eine Umsatzsteigerung im Zentralnervensystem zurück. A. Fischel (Anatom. Hefte 1919, 58) fand ähnliche Resultate an geblendeten Salamanderlarven. Die geblendeten Larven waren im allgemeinen größer als die Kontrolltiere. Es handelt sich hierbei um den durch das Auge vermittelten Einfluß auf den Stoffwechsel. A. Lippmann und H. Völker-Hamburg (M.M.W. Nr. 8, 1928) fanden, daß nur unmittelbar während der Bestrahlung selber eine Erhöhung des Grundumsatzes um 10—18% eintritt. Doch klingt jede Erhöhung in kürzester Zeit ab, so daß keine Dauerwirkung erzielt wird. Andererseits kann es durch eine langdauernde Bestrahlung zu einer Senkung des Grundumsatzes kommen. G. Lehmann (Arbeitsphysiologie 5, 1932) konnte eine Senkung des Grundumsatzes um 10—15% mit ultravioletten Strahlen erzielen.

Wirkung auf den Kohlehydratstoffwechsel:

Die Beeinflussung des Kohlehydratstoffwechsels äußert sich nach den Versuchen von Pincussen (Ztschr. f. d. ges. exp. Med. Bd. 26, 1922) darin, daß bei normalen wie an Diabetes leidenden Organismen eine Herabsetzung des Blutzuckerspiegels und erhöhte Toleranz unter Bestrahlung mit sichtbarem und ultraviolettem Licht für Zucker eintritt. Ganz besonders nimmt die Zuckerausscheidung nach Sensibilisierung mit Eosin im Harn ab. Pincussen erreichte sogar bei einzelnen Fällen von schwerem Diabetes vorübergehende Zuckerfreiheit durch Bestrahlung. Es handelt sich dabei nicht etwa um eine Veränderung der Nierenfunktion, sondern um eine direkte Stoffwechseleinwirkung, da auch der Blutzucker deutlich abnahm. Vermutlich handelt es sich dabei um eine Steigerung des Inselapparates auf dem Wege über das vegetative Nervensystem. Völker (Klin. Wochenschr. Nr. 5, 1928) dagegen fand, daß bei Bestrahlung mit ultraviolettem Licht der Blutzuckerspiegel beim gesunden Menschen unverändert blieb, jedoch der künstlich oder physiologisch erhöhte Blutzuckerspiegel gesenkt wurde. Somit käme nach diesen Ergebnissen der experimentellen Strahlentherapie die Ultraviolettbestrahlung bei der Behandlung des Diabetes als unterstützende Maßnahme sehr wohl in Frage.

Neuberg wies nach, daß Stärke und Glykogen durch Bestrahlung verzuckert werden und daß zugleich Abbauprodukte der Glukose entstehen. Biosen und Triosen werden unter Bestrahlung zu Monosen aufgespalten.

Wirkung auf den Eiweißstoffwechsel:

Das Licht ist imstande am Aufbau kolloidaler Substanzen überhaupt teilzunehmen, es vermag ferner Wirkungen auf die Kolloide auszuüben. Es wurde schon früher darauf hingewiesen, daß Eiweißkörper durch ultra-

violettes Licht koaguliert werden. Verschiedene Eiweißkörper werden bei Bestrahlung mit kurzwelligem Licht aus ihren Lösungen ausgeschieden. Serumalbumin und Serumglobulin werden in neutraler, wie in saurer und alkalischer Lösung koaguliert. Von besonderem Interesse sind die Beobachtungen von Karl Neuberg (Bioch. Ztschr. 17, 27, 39, 1917) über das Verhalten der Eiweißkörper gegen langwelliges Licht bei Gegenwart von Photokatalysatoren. Er konnte die Eiweißkörper auch hier als lichtempfindlich nachweisen und fand, daß das Licht die Eiweißkörper in dem Sinne verändert, daß aus leichtlöslichen schwerlösliche werden. Protoplasma wird von den sichtbaren Strahlen nicht verändert, dagegen bewirken die ultravioletten Strahlen eine Gerinnung des Eiweißes. Praktisch sind die Eiweißkörper nicht lichtempfindlich und erlangen Photosensibilität erst durch die Anwesenheit von anorganischen Salzen. Die photokatalytische Lichteinwirkung besteht aus Oxydation und Spaltung. Proteine und Peptone werden zunächst teilweise hydrolisiert und die Aminosäuren dann in Aldehyde bzw. in Aldehydsäuren übergeführt. Somit haben die Untersuchungen Neubergs zunächst ergeben, daß sehr lange Einwirkung des langwelligen Lichtes auf Eiweißkörper ohne praktisch nachweisbaren Erfolg verläuft. Erst bei Gegenwart von Katalysatoren tritt die ausgesprochene spaltende Wirkung für Eiweißkörper und verwandte Substanzen in Erscheinung.

Bei längerer Bestrahlung des menschlichen Körpers hat Pincussen eine Beeinflussung des Eiweißstoffwechsels dahingehend festgestellt, daß sich der Harnstickstoff zunächst ändert. Es ergab sich eine Veränderung, welche variierte sowohl nach der Art der angewendeten Katalysatoren als auch nach der Art der Bestrahlung. Versuche an Hunden mit Belichtung einer Quecksilberlampe ergab bei mäßiger Bestrahlung und ohne Sensibilisatoren eine geringe Abnahme der Gesamtstickstoffausscheidung. Bei Sensibilisierung der Hunde mit Eosin nahm sie mäßig, bei Sensibilisierung mit anthrachinondisulfosaurem Natrium stark zu. Auch am Menschen zeigte sich nach Sensibilisierung mit Eosin bei starker Belichtung eine erhebliche Steigerung der Stickstoffausscheidung. Liebensny (Ztschr. f. physikal. u. diät. Therapie, Bd. 24, 1920) gibt die Menge der Gesamtstickstoffausscheidung nach Bestrahlung mit ultraviolettem Licht mit 25% an. H. Königsfeld hat bei Bestrahlung mit der Quarzlampe an den Bestrahlungstagen eine Steigerung des Gesamtstickstoffes, besonders der Stickstoffausscheidung, festgestellt, der nach einiger Zeit eine kompensatorische Abnahme folgte. Die Erhöhung der Stickstoffausscheidung ist zum Teil auch auf das vermehrte Zugrundegehen von Zellen zurückzuführen. Groppler (Med. Diss., Berlin 1913) fand bei Kaninchen unter Bestrahlung die Menge der eiweißspaltenden Fermente deutlich vermehrt. Der Kreatin- bzw. Kreatiningehalt wird durch Lichteinwirkung nur wenig verändert. Reine Ultraviolettbestrahlung bewirkt eine erhöhte Kreatinabnahme im Harn.

Wirkung auf das Blut:

Einen direkten Einfluß auf eine Vermehrung oder Abnahme der Erythrozyten und ihres Hämoglobingehaltes scheinen die sichtbaren Strahlen nicht zu haben. Grober und Sempell (Dtsch. Arch. f. klin. Med. Bd. 129, 1919) wiesen nach, daß Organismen, die lange Zeit im Dunklen leben, keine Abnahme der Zahl der Erythrozyten zeigen. Die im Höhenklima auftretende Vermehrung der Erythrozyten und ihres Hämoglobingehaltes ist nicht auf die hier herrschende stärkere Strahlung zurückzuführen. C. F. Meyer zeigte bei Parallelversuchen an Kaninchen in Davos und in Basel, daß trotz der Ausschaltung des Sonnenlichtes eine Vermehrung der Erythrozyten und des Hämoglobins zustande kam. Otto Kestner (Ztschr. f. Biologie B. 73, 1921) steht auf dem Standpunkt, daß die Sonnenstrahlung — wenn auch nur mittelbar — doch das ausschlaggebende Moment für die Vermehrung der roten Blutkörperchen ist. Durch die Wirkung der Strahlen entstehen in der Atmosphäre bestimmte chemische Stoffe, die zur Einatmung kommen und so einen Anstieg der Erythrozyten bedingen.

Anders scheinen sich die ultravioletten Strahlen zu verhalten. Sowohl beim Tier als auch beim Menschen tritt ein deutlicher Anstieg der roten Blutkörperchen und damit auch des Hämoglobingehaltes auf. Gute therapeutische Erfolge sind daher bei sekundären Anämien zu verzeichnen, während bei der perniziösen Anämie die Bestrahlung mit ultraviolettem Licht restlos versagt.

Wirkung auf die roten Blutkörperchen:

Rote Blutkörperchen hämolysieren, wenn sie in einer physiologischen Kochsalzlösung starkem Sonnenlicht ausgesetzt sind. L. Lepeschkin (Strth. Bd. 51) hat durch Versuche nachgewiesen, daß die Erythrozyten unter dem Einfluß der Sonnenbestrahlung eine Erniedrigung ihrer Resistenz gegen hämolysierende Agentien, z. B. gegen hypotonische Lösungen, Gifte und dauernde Salzwirkung, zeigen. Werden die sichtbaren Strahlen durch Filter ausgeschaltet, so daß nur die ultravioletten Strahlen wirken können, so tritt die Resistenzverminderung erst nach sehr langer Bestrahlungsdauer ein. Ist die Bestrahlungsdauer dagegen nur eine kurze, so tritt eine Erhöhung der Resistenz ein. L. Lepeschkin schließt daraus, daß die ultravioletten Strahlen bis zu einem gewissen Grade die roten Blutkörperchen vor Hämolyse und vor der schädlichen Wirkung des sichtbaren Lichtes schützen, obwohl die ultravioletten Strahlen bei längerer Einwirkung sich selbst als schädlich erweisen. Die schädliche Wirkung fällt am lebenden Organismus weg, da ihre Mengen viel zu gering sind, um eine Resistenzverminderung der roten Blutkörperchen hervorzurufen, jedoch groß genug, um ihre Resistenz soweit zu erhöhen, daß ein Ausgleich für die schädliche Wirkung des sichtbaren Lichtes geschaffen ist. Die Ursache der schützenden Wirkung der ultravioletten Strahlen auf die Zelle liegt in einer durch

sie hervorgerufenen Synthese der Grundverbindungen des Protoplasmas aus dessen Zerfallsprodukten. Das vorher Gesagte bezieht sich aber nur auf Menschen, deren Haut nicht pigmentiert ist. Das Pigment absorbiert die ultravioletten Strahlen stärker als die sichtbaren Strahlen, so daß die schützende Wirkung der ultravioletten Strahlen im Falle einer genügenden Pigmentierung der Haut wegfällt.

Wirkung auf den Blutfarbstoff:

Hasselbach (Biochem. Ztschr. Bd. 9, 1919) hat gefunden, daß das Vermögen des Blutes in vivo, Sauerstoff zu binden oder abzugeben, durch Bestrahlung mit einer Bogenlampe vermindert wurde. Er stellte weiter fest, daß nach Belichtung von Blut mit einer Quecksilberdampflampe die Menge des locker gebundenen Sauerstoffes um etwa 60% herabgesetzt wurde. Diese Wirkung ist an die Gegenwart von Sauerstoff gebunden. Eine Belichtung, die in atmosphärischer Luft das Sauerstoffbindungsvermögen um die Hälfte herabsetzte, war im Vakuum völlig unschädlich. Diese Änderung des Blutfarbstoffes bezeichnet Hasselbach als „Destruktion" des Oxyhämoglobins. Es wird somit die biologisch wichtigste Eigenschaft des Blutes, mit Sauerstoff eine dissoziable Verbindung einzugehen, durch Belichtung aufgehoben. Diese „Destruktion" des Oxyhämoglobins beruht auf der Umwandlung des genuinen Blutfarbstoffes in Methämoglobin, welches sich weiter zersetzt unter anderem zu Hämatin, welches wiederum zu Hämochromogen reduziert wird. Reduziertes Hämoglobin ist im Gegensatz zur Veränderung des Oxyhämoglobins lichtbeständig.

Schmidt-Nielsen beobachteten an isolierten roten Blutkörperchen, daß dieselben unter dem Einfluß ultravioletter Strahlen von 310 μμ lysieren. Längerwellige wirken schwächer. Auch die sichtbaren Strahlen können bei hoher Intensität Hämolyse bewirken.

Es ist jedoch sehr fraglich, ob die hier geschilderten Vorgänge auch am Körper eintreten können. Die wirksamen Strahlen erreichen kaum das strömende Kapillarblut und wäre die Belichtungszeit des Blutkreislaufes eine viel zu kurze, um diese Wirkung auf den Blutfarbstoff hervorzurufen.

Wirkung auf das weiße Blutbild:

Burchardi untersuchte den Einfluß der Sonnenstrahlen auf das weiße Blutbild und fand eine relative Vermehrung der Mononukleären durch Verminderung der Polynukleären. Andere Autoren dagegen fanden eine Vermehrung der Gesamtleukozyten, was als eine Auswirkung der Bildung histaminähnlicher Körper aufzufassen ist. Die Eosinophilen zeigen kein konstantes Verhalten. Die Zahl der Lymphozyten steigt mit der Intensität der Bestrahlung an.

Bei reiner Ultraviolettbestrahlung kommt es schon nach der ersten Bestrahlung zu einer relativen Vermehrung der polymorphkernigen Leuko-

zyten und oft auch der Mononukleären, dann bei gleichzeitiger Zunahme der Lymphozyten und der Eosinophilen meist ein sturzförmiges Absinken der polymorphkernigen und eine langsame Abnahme der großen Mononukleären. Nach weiteren Bestrahlungen stellt sich das normale Blutbild wieder her, nur pflegt eine gewisse Eosinophilie zurückzubleiben. Kopits (zit. bei H. Bach) fand neben meist beobachteter Erhöhung des Hämoglobingehaltes, des F-Indexes und der Zahl der Erythrozyten eine Rechtsverschiebung mit Verminderung der Neutrophilen und Vermehrung der Eosinophilen, Monozyten und Lymphozyten. Auch die Thrombozyten erfahren durch ultraviolette Bestrahlung im zirkulierenden Blut eine Vermehrung. Ebenso werden die Blutfermente vermehrt. Dies hängt im wesentlichen mit dem Zellzerfall im Belichtungsfelde zusammen, wodurch die Zellfermente frei werden und in das Blut gelangen.

Die Schutzkörperbildung wird nach allgemeiner Ansicht nicht beeinflußt. Th. Hausen (Acta med. scandinav. B. 56, 1922) dagegen beobachtete, daß beim Menschen der Agglutiningehalt des Serums nach Typhusvakzine unter Allgemeinbestrahlung mit einer Kohlenbogenlampe rascher anstieg als in Versuchen ohne Bestrahlung.

Wirkung auf die Atmung:

Belichtung mit einer Kohlenbogenlampe bewirkt eine Abnahme der Atemfrequenz, wobei die Tiefe der Atemzüge zunimmt. Die Tiefenzunahme ist jedoch so stark, daß trotz der Frequenzabnahme der Ventilationseffekt erhöht wird. Der Grund hiefür mag in dem verringerten Tonus der Hautgefäße liegen, der sich in der chronischen Hautröte und dem herabgesetzten Blutdruck äußert (Meyer). Es läßt sich ferner bei Sonnenbestrahlung im Hochgebirge eine Verminderung der alveolären Kohlensäurespannung nachweisen. Man nimmt an, daß die Erregbarkeit des Atemzentrums in der Höhe eine Steigerung erfährt, was wohl hauptsächlich auf die Wirkung der ultravioletten Strahlen zurückzuführen ist.

Wirkung auf den Blutdruck:

Hasselbach fand bei Bestrahlung mit einer Kohlenbogenlampe eine Erhöhung des Blutdruckes um 5—10 mm, der jedoch bald eine Senkung folgte, die an mittelgroßen Arterien ca. 10% des Ausgangswertes betrug. Es ergab sich weiter, daß das Minutenvolumen des rechten Vetrikels im akuten Stadium des Lichterythems eine Erhöhung von 10% aufwies. Die Ansichten über das Zustandekommen dieser Wirkung sind jedoch sehr verschieden. Hasselbach bringt die Blutdrucksenkung mit dem durch die Bestrahlung gebildeten Lichterythem in Zusammenhang, bei welchem es zu einer starken Erweiterung der feinsten Hautgefäße kommt. Kestner und Kimmerle (Ztschr. f. Biolog. Bd. 73, 1921) führen die Blutdrucksenkung auf gewisse eingeatmete Gase zurück, die sich in der Atmosphäre durch

das Passieren der Strahlen bilden. Sie konnten nachweisen, daß Tiere und Menschen, welche während der Bestrahlung von außen zugeleitete und der Einwirkung der Strahlen entzogene Luft einatmeten, keine Blutdrucksenkung zeigten, während umgekehrt Personen, die vor Licht geschützt waren, aber die bestrahlte Luft einatmeten, mit Blutdrucksenkung reagierten. Man nimmt an, daß es sich hiebei um Nitroxylverbindungen handeln müsse. Andere Autoren wiederum glauben, daß diese Erscheinung auf eine Änderung der Nebennierentätigkeit beruhe. Auch wird vielfach die Blutdrucksenkung als Zeichen einer Herabsetzung des Sympatikustonus aufgefaßt.

Man hat ferner die Wirkung der Sonnenstrahlen auch auf die Pulsfrequenz untersucht und hat Lenkei (Ztschr. f. physikal. u. diät. Ther. Nr. 8, 1905) nach Sonnenbestrahlung eine Vermehrung der Pulszahl um ein bis zehn Schläge in der Minute feststellen können.

Wirkung auf die Bakterien:

Nach den früheren Anschauungen beruhte die bakterizide Wirkung des Lichtes auf den Wärmestrahlen. Es ist jedoch sicher, daß nicht nur die Sonne, sondern auch zerstreutes Tageslicht die Bakterien beeinflussen kann. Dabei nimmt die Wirkung der Strahlen mit der Zunahme ihrer Wellenlänge ab. Bang (Finsens Mitt. H. 9, 1905) verglich die Wirkung der äußeren ultravioletten Strahlen (250 $\mu\mu$) mit den inneren ultravioletten (360—370 $\mu\mu$) und den blauen auf Bakterien und kam zu der Verhältniszahl 3500 : 250 : 1. Es ist aber die bakterizide Wirkung durchaus nicht an bestimmte Spektralgebiete gebunden, es sind jedoch zur Erreichung des gleichen Effektes bei größerer Wellenlänge auch höhere Intensitäten nötig. Es ist somit die strahlende Energie als solche das wirksame Prinzip. Die stärkste Wirkung kommt, wie aus obigen Vergleichszahlen hervorgeht, den ultravioletten Strahlen zu. Bei hoher Intensität ist die Schnelligkeit der abtötenden Wirkung nur eine einige Minuten betragende. Selbstverständlich hängt der zeitliche Ablauf der Abtötung der Bakterien sehr von der jeweiligen Bakterienart und ihrer eventuellen Lichtgewöhnung ab. Ehrismann-Berlin (MMW. Nr. 23, 1930) stellte Versuche über die bakterizide Wirkung ultravioletten Lichtes auf und fand, daß die Empfindlichkeit der Bakterien gegen ultraviolette Strahlen in der Reihenfolge: Diphtherie — Prodigiosus — Koli — Staphylococcus pyog. aur. — vibrio cholerae — Typhus ansteigt. Durch nicht tödliche Lichtmengen können gewisse Bakterienarten ihre Form ändern. So hat man beobachtet, daß Anthraxbazillen bei ultravioletter Bestrahlung kokkenähnliche Form annehmen und sich auch in dieser Form auf geeigneten Nährböden weiterzüchten lassen. Die Virulenz der Bakterien wird durch Bestrahlung nicht beeinflußt. Die scheinbare Abnahme der Leistungen beruht nur auf einer Keimzahlverminderung. Wiesner (Arch. f. Hyg. Bd. 61, 1907) fand unter Kontrolle der Zahl der vor-

handenen Bakterien, daß weder die Gelatineverflüssigung durch Staphylokokken, noch die Zuckervergärung durch Kolibazillen, noch die Trimethylaminbildung durch Bazillus prodigiosus im Lichte eine Verminderung erfährt. Wiesner schließt daraus, daß die chemischen Leistungen der verschiedenen Bakterienarten sich erst mit ihrer Abtötung ändern. Sehr wichtig scheint die Gegenwart von Sauerstoff zu sein. Bei der Wirkung der kurzwelligen Strahlen ist sie entbehrlich, bei langwelligen scheint sie fast Bedingung zu sein. Die Wirkung auf die Bakterien kann aber auch eine sekundäre sein, indem Zwischenreaktionen auftreten, wobei durch das Licht Wasserstoffsuperoxyd gebildet wird, das nun die deletäre Wirkung ausübt. Wenn man auf diese desinfizierende Kraft des Lichtes große therapeutische Hoffnungen gesetzt hat, so mußten diese enttäuscht werden. Zwar wirkt das Licht bakterizid nicht nur auf Saprophyten, sondern auch auf fast alle pathogenen Mikroorganismen, wenn die Bedingungen günstig sind. In den Körper dringt das Licht jedoch nicht in solchen Mengen ein, daß es genügen könnte, die vielfach versteckten und verkapselten Krankheitserreger direkt zu erreichen. Bisher hat man keine Mittel und Wege gefunden, um das Verhältnis günstiger zu gestalten. Vor allem sind die Erfolge, die bei der Tuberkulose durch Bestrahlung erhalten worden sind, sicherlich zum allerkleinsten Teil auf direkte Beeinflussung der Tuberkelbazillen zurückzuführen. Was die Strahlen in dieser Beziehung für die Bekämpfung der Tuberkulose leisten, ist die Sterilisierung der freiliegenden Bazillen in der Luft und im Straßenstaub. Auch verschiedene Fermente werden durch die Strahlen geschädigt, ebenso Stoffwechselprodukte der Bakterien, Toxine usw., wodurch unter Umständen also eine für den Organismus heilsame Wirkung gesetzt wird. Sicher jedoch ist, daß die bakteriziden Kräfte des Blutes zunehmen, wenn die Haut mit ultraviolettem Licht bestrahlt wird. Dabei ist diese Steigerung der abtötenden Kräfte an das Auftreten eines sichtbaren Erythems gebunden und zwar ist sie am stärksten, wenn nur ein geringfügiges Erythem vorhanden ist, das nach 24 Stunden wieder abgelaufen ist (Pincussen).

Wirkung auf die Körperoberfläche:

Ausgehend von der überragenden Bedeutung der Hautfunktion im allgemeinen Körperhaushalt, spielt die Behandlung sehr vieler Erkrankungen mit Lichtstrahlen eine bedeutende Rolle. Nicht nur durch die Wirkung der Wärmestrahlen, sondern auch durch die Lichtstrahlen und ultravioletten Strahlen wird die Haut stärker durchblutet und übt sie somit einen Einfluß auf den Kreislauf aus. Die Wärmestrahlen führen zu einer unmittelbaren, aber kurzdauernden Gefäßerweiterung des Koriums und der Kapillaren. Im Gegensatz zu den Wärmestrahlen setzt die Hyperämie und Gefäßerweiterung bei den sichtbaren und ultravioletten Strahlen erst nach einer gewissen Latenzzeit ein, ist scharf abgegrenzt und bleibt nach einem vorübergehenden Früherythem längere Zeit bestehen. Durch die Erweite-

rung der Hautgefäße wird ein Großteil des Blutstromes in die Oberfläche abgeführt, wodurch es zu einer Entlastung sämtlicher tiefgelegenen Organe kommt. Der Blutstrom erfährt ferner in den Kapillaren eine Verlangsamung, Leukozyten wandern aus, es kommt zur Quellung und Lockerung des Epithels und schließlich zur Blasenbildung. Die verminderte Geschwindigkeit der Blutdurchströmung und der gesteigerte Füllungsgrad der Blutgefäße bewirken eine Erhöhung der Temperatur des Kapillarblutes der Haut und der benachbarten Gewebe. Diese Wirkung ist auf die sichtbaren Strahlen des Spektrums zurückzuführen und man fand in der Tiefe von 5 mm eine Erhöhung bis zu 47° C, während die Oberflächentemperatur 41,5° nicht überschreitet. Die weniger hohe Temperatur an der Oberfläche ist auf die rasche Wärmeabgabe zurückzuführen, wodurch auch eine Wärmestauung nicht eintreten kann. Auf diesem Prozeß beruht zum großen Teil der allgemein-antiinfektiöse Schutz, der der Haut eigen ist. Nach A. Rollier (Strther. Bd. 45, 1932) beruht die Vernichtung von Bakterien oder ihrer Produkte, z. B. der Diphtherietoxine, nicht auf dem photochemischen Effekt, sondern auf der während der Bestrahlung erfolgenden Temperatursteigerung im Inneren der Haut.

Eine der wichtigsten Erscheinungen bei der Bestrahlung der Körperoberfläche ist die Bildung des Pigmentes. Im Zusammenhang damit sei folgende Erklärung Pincussens darüber gegeben: Der beim Menschen durch Strahlung zunächst betroffene Teil ist die Haut. Da sie von den Lichtstrahlen — im Gegensatz zu den Röntgenstrahlen — den größten Teil absorbiert, werden an ihr die stärksten Änderungen der direkten Strahlenwirkung zu beobachten sein. Diese ist gekennzeichnet durch die Bildung eines Farbstoffes, des Pigmentes, welches, in den Epithelzellen vor allem der Neger regelmäßig vorhanden, beim Weißen sich erst auf Bestrahlung bildet. Seine Entstehung ist augenscheinlich einem Stoffwechselprozeß der Zellen zu verdanken. Nach Untersuchungen von Fürth (Wiener Med. Ws. Nr. 5, 6, 1920) ist die Bildung des melanotischen Pigmentes der Haut dem Zusammenwirken zweier fermentativer Vorgänge zuzuschreiben. Es werden zunächst durch eiweißspaltende Fermente aus dem ungefärbten Protoplasma zyklische Komplexe abgespalten, die nun in einem zweiten Prozeß mit Hilfe oxydierender Fermente in dunkel gefärbte Produkte verwandelt werden. Es ist danach die Bildung des Pigmentes einerseits von dem Vorhandensein zyklischer Komplexe von der Art des Tyrosins, Adrenalins, andererseits dem Vorhandensein einer Oxydase in den Zellen abhängig. Hieraus ergibt sich, daß bei Fehlen einer dieser Vorbedingungen die Melaninbildung ausbleiben muß: hieraus ist die Nichtbildung von Pigment in der Haut der Albinos zu erklären. Der direkte Beweis für das Erfordernis des Tyrosins oder eines ähnlichen Stoffes zur Pigmentbildung ist neuerdings von Rothmann (Ztschr. exp. Med. Bd. 36, 1923) erbracht worden, der eine Verminderung des Tyrosins im Blute während der Pigmentbildung konstatierte. Zu Beginn der Belichtung zeigt sich eine geringe Vermehrung

des Tyrosins, während bei der Ausbildung des Pigmentes eine starke Verminderung eintrat. Den Anstieg des Tyrosinspiegels im Blut bringt Rothmann mit proteolytischen Vorgängen in der Haut in Beziehung, wodurch Tyrosin frei würde, das Fallen mit der Verankerung des Tyrosins im Bestrahlungsfelde unter Umwandlung desselben in Pigment. Nach den Untersuchungen von B. Bloch (Arch. d. Derm. u. Syph. Bd. 124, 1917) ist die Pigmentbildung wenigstens in der Regel nur möglich durch die Oxydation von 3,4-Dioxyphenylalanin (Dopa), bzw. eines ihm nahestehenden Brenzkatechinderivates, das durch eine ganz spezifische Oxydase, die „Dopaoxydase" zu einem Pigment, dem Dopamelanin, umgeformt wird. Dieses Pigment ist in seinem Vorkommen außerordentlich variabel, es ist besonders reich vorhanden an pigmentierten Stellen, es fehlt in den albinotischen Teilen im übrigen pigmentierter Tiere, fehlt in der Haut und in den Haaren von Albinos. Nach Blochs Ansicht wäre also bei Albinos nicht das Fehlen der Vorstufe, sondern der Oxydase für die Nichtbildung des Pigmentes entscheidend.

Während Bloch die oxydable Substanz von irgendwoher nimmt und den Prozeß ausschließlich im Protoplasma abspielen läßt, ist für Meirowsky der Kern an dem Prozeß wesentlich beteiligt. Es findet zunächst durch den Strahlenreiz eine Vermehrung der Substanz der Kernkörperchen statt. Diese treten in das Protoplasma aus und verwandeln sich nun in Pigmentkörner, die dann wieder in feine Körnchen zerfallen. Diese feinen Körnchen wandern an den Rand der Zelle oder sammeln sich um den dem Licht zugekehrten Pol in solcher Weise an, daß der Zellkern wie von einer Haube bedeckt ist, die ihn gegen das Licht schützt. Bisweilen können auch die Kernkörperchen sich schon im Kern selbst in Pigmentkügelchen umwandeln, die nun als solche aus dem Kern austreten. Diese Angaben von Meirowsky lassen sich natürlich in einer Beziehung mit den Ansichten von Bloch vereinen: dem Vorhandensein eines intrazellulären Fermentes und dem einer oxydablen Substanz (Pincussen).

Im Gegensatz zu ihnen vertreten einige Autoren die Anschauung, daß eine autochthone Entstehung des Epidermispigmentes nicht in Frage kommt. Alle Pigment führenden Zellen, sowohl die in der Epidermis wie die im Bindegewebe gelegenen, sind einheitlicher Natur und Abkömmlinge des mittleren Keimblattes; sie sind nicht sowohl die Träger und Übermittler des Pigmentes als vielmehr dessen Bildner, Chromatoblasten bzw. Melanoblasten. Das Pigment entstammt dem Blut. Wieder andere führen alles melanotische Pigment auf den Blutfarbstoff zurück. Dieser ist überall in der Lymphe und in den Gewebssäften in großer Verdünnung enthalten, durch den Lebensprozeß bestimmter Zellen wird er zu melanotischem Pigment verwandelt.

Bevor im nachfolgenden über einige Indikationen der Ultravioletttbestrahlung berichtet sei, sei noch kurz einiges über das Erythem angeführt, das bei der ultravioletten Bestrahlung eine wichtige Rolle spielt.

Die Technik der Ultraviolettbestrahlung zerfällt in zwei Gruppen von Anwendungen: In Allgemeinbestrahlung, das sind Belichtungen des ganzen Körpers, und in örtliche Bestrahlungen bestimmter Körperteile. Während bei den Allgemeinbestrahlungen eine Hautrötung oder „Erythem" nicht erwünscht ist, ist die Erzielung eines solchen bei örtlichen Bestrahlungen die Regel. Die örtlichen Quarzlichtbestrahlungen sind somit fast immer gleichbedeutend mit Erythembestrahlung, worin ihre therapeutische Bedeutung liegt.

Bei der Allgemeinbestrahlung ist das Erythem zu vermeiden, da eine Rötung der gesamten Körperhaut dem Kranken Beschwerden machen würde, Fieber erzeugen würde und unter Umständen gefahrbringende Herd- und Allgemeinreaktionen hervorrufen könnte. Ein Erythem ist außerdem bei den Allgemeinbestrahlungen überflüssig, da diese die Bildung von lichtbewirkten Hautstoffen bezwecken, die schon bei viel schwächeren als bei Erythemdosen entstehen. Eine der bedeutungsvollsten Wirkungen des lichterzeugten Hautreizes ist die Bildung des Stoffes Vitamin D aus dem Cholesterin des Hauttalges, worauf die Heilkraft des ultravioletten Lichtes bei Rachitis beruht. Das ultraviolette Licht zerstört auch massenhaft Epidermiszellen, durch deren Zerfall Eiweißabbauprodukte entstehen. Diese können durch eine „unspezifische Reizkörperwirkung" eine „Umstimmung" des Organismus hervorrufen. Ein Eiweißspaltprodukt besonderer Art ist die Histaminsubstanz, auf deren gefäßerweiternde Wirkung wahrscheinlich die Bildung des Erythems beruht. Diese Stoffe werden von feinsten Hautkapillaren aufgenommen und in den gesamten Organismus gebracht, um dort ihre Wirkung zu entfalten. Die Erklärung, wieso ultraviolette Strahlen innere Organe therapeutisch beeinflussen können, liegt also nicht auf einer direkten Wirkung auf diese, sondern vielmehr in der Bildung von heilsamen Hautstoffen, die auf dem indirekten Wege des Blutkreislaufes auf die Eingeweide einzuwirken vermögen (E. Wellisch).

Anders dagegen verhält es sich bei der örtlichen Bestrahlung mit Erythembildung. Die Erklärung hiefür liegt in den Wirkungen der Erytheme. Diese sind: 1. Wirkungen auf die Haut (die vorwiegend bei Hautleiden von Bedeutung sind), 2. Wirkungen auf innere Organe (die zum Unterschied von den Allgemeinbestrahlungen nicht auf dem Blut-, sondern auf dem Nervenwege zustande kommen), 3. Wirkungen auf den gesamten Organismus.

Die Wirkung auf innere Organe ist auf einen Reflexbogen zurückzuführen, der von der Haut ausgeht und über das Rückenmark zum Eingeweide verläuft. Eine direkte Wirkung auf innere Organe ist kaum möglich, da die Tiefenwirkung des ultravioletten Lichtes nur sehr gering ist, wie bereits gezeigt wurde. Die Erfahrung, daß Bestrahlung eine Heilwirkung auf innere Organe entfaltet, und zwar vor allem dann, wenn die bestrahlte Hautzone dem Organ segmental zugeordnet ist, spricht für diesen sensorisch-viszeralen Reflexbogen auf das autonome Nervensystem. Genauer

wäre dieser Reflexbogen so zu denken, daß der lichtbewirkte Reiz zunächst in der Haut gelegene Endigungen des Nervus spinalis posterior erfaßt, welcher die Erregung über das Spinalganglion zur somatosensiblen und viszerosensiblen Zone des Rückenmarkes weiterleitet. Von hier dürfte ein Bogen wieder zurück durch das Spinalganglion und von diesem über den Ramus communicans griseus zu den Ganglien des Grenzstranges zielen, während ein anderer Bogen direkt über den Ramus communicans albus zum Grenzstrang verläuft. Vom Grenzstrang gelangt dann der Reflexbogen schließlich, entweder direkt oder unter Einschaltung von prävertebralen Ganglien, zum Eingeweide (E. Wellisch). Die Annahme eines solchen sensorisch-viszeralen Reflexes stützt sich auf viele bekannte analoge Fälle. Von diesen sei hier bloß erwähnt, daß Brown-Séquard bei Sektionen nach Hautverbrennungen Hyperämien in den Eingeweiden sah. Daß solche Hyperämien sicher reflektorischer Natur sein können, zeigte W. Ruhrmann (Ztschr. exper. Med. H. 52, 1926, H. 57, 1927), der ein Laparoskop in die Bauchhöhle einführte und nach verschiedenen Reizungen der Bauchhaut sofort nach diesen auftretende Hyperämien der Eingeweide unmittelbar betrachtete und photographiert hat. Die Reflexwirkung der Erytheme auf die Eingeweide erzeugt also offenbar in diesen eine Hyperämie, mit der eine Linderung der Schmerzen, Lösung von Krampfzuständen und Anschoppung von Abwehrstoffen verbunden sein kann. In den tiefliegenden großen Nervenstämmen vermögen die Erytheme eine Herabsetzung des erhöhten Tonus zu bedingen, worauf ihre antineuralgische Wirkung beruht (J. D. Achelis und H. Rothe Pflügers Arch. 1927, 218, H. 3/4).

Im nachfolgenden seien nun einige Indikationen und Anwendungen der Lichtbehandlung, insbesondere der Ultraviolett-Lichtbehandlung, auf den Gebieten der inneren Medizin, der Chirurgie und der Kinderheilkunde gegeben.

Auf dem Gebiete der inneren Medizin steht heute die Behandlung der Tuberkulose durch ultraviolettes Licht mit an erster Stelle. Man nimmt an, daß durch ultraviolette Bestrahlung die Bildung sämtlicher Partialantigene günstig beeinflußt wird und zwar in erster Linie die Eiweißantigene, in zweiter die Fettantigene, denen bei der Bekämpfung der Tuberkulose eine wichtige Rolle zugesprochen wird. Die Hautreizung durch das Ultravioletttlicht hat außerdem eine bessere Zirkulation zur Folge, die sich an den inneren Organen durch eine günstige Reaktion auf den tuberkulösen Herd geltend macht und vielleicht auch die Toxinausscheidung fördert. Vor allem werden günstige Erfolge bei der beginnenden Lungentuberkulose beobachtet, wie überhaupt bei verdächtigen Spitzenaffektionen. Auch bei frühzeitig einsetzenden Blutungen werden günstige Erfolge erzielt; jedenfalls sind Blutungen nach Ansicht mehrerer Autoren nicht als Kontraindikation zu betrachten. Ebenso bilden ulzeröse, kavernöse oder mehr fibröse Prozesse, mögen sie einseitig oder doppelseitig sein,

keine Kontraindikation, und bei Pneumothorax artificialis sind die Bestrahlungen eine gute Unterstützung des Heilprozesses (Bach). Bei Erkrankungsherden, die vom Hilus ausgehen, besonders bei frischer Hilusdrüsentuberkulose, hat man ebenfalls günstige Erfolge beobachtet. In diesen Fällen wird auch eine Kombination der Bestrahlung mit Röntgentiefenstrahlung empfohlen. Guttstein (Brauers Beitr. Bd. 35) hat sorgfältige Untersuchungen über die Wirkung des ultravioletten Lichtes auf die Lunge, den ganzen Körper und die Blutzusammensetzung angestellt. Er bestätigt in vielen Fällen Besserung des Allgemeinbefindens, Abnahme des Hustens und Auswurfes. Fieber und Bazillen schwanden bei einer Anzahl von Kranken, Gewichtszunahme, Hämoglobin- und Erythrozytenvermehrung wurden beobachtet. Die günstige Wirkung der Allgemeinbestrahlung mit ultraviolettem Licht bei der Lungentuberkulose liegt in erster Linie in ihrer Eigenschaft, allergische Kräfte in der Haut, welche als Abwehrorgan von Infektionen von größter Bedeutung ist, zu aktivieren, ferner in einer Entlastung der Lunge infolge der Hyperämisierung der Haut und nicht zum mindesten in einer Hebung und Kräftigung des Herz- und Gefäßsystems, wodurch der erschlaffenden Wirkung der Liegekuren entgegengearbeitet wird.

Wenngleich viele Autoren in der Behandlung der verschiedenen Formen der Lungentuberkulose mit Licht keinen größeren Unterschied machen, so ist dieses doch nur mit großer Vorsicht zu verwerten. Alexander warnt sehr vor einer kritiklosen Behandlung der Tuberkulose mit Lichtstrahlen. Er scheidet vor allem die ausgesprochenen exsudativen Formen, Frühinfiltrate, alle Erkrankungen mit Zerfall und Neigung zu Blutungen oder Brustfellreizung aus. Es ist erwiesen, daß frische Prozesse, vor allem subfebrile oder gar fiebernde Tuberkulosen ungünstig beeinflußt werden. Sonne ist für Lungenkranke ein ganz außerordentlicher Reiz, der nur in bestimmten Fällen und nur dosiert angewendet werden sollte. Sehr häufig werden Verschlechterungen, Reaktivierungen (Blutungen, Brustfellentzündungen) im Anschluß an unvorsichtige Sonnenbäder wahrgenommen. Insbesondere das stundenlange In-die-Sonne-Liegen mit unbekleidetem oder bekleidetem Körper, wobei im letzteren Falle eine Wärmestauung noch hinzukommt, ist gefährlich. Alexander berichtet von einer Reihe Kranker, bei denen hinterher akut eine Lungentuberkulose in Erscheinung trat. Offensichtlich war ein ruhender Prozeß durch übermäßigen Reiz zum Aufflackern gebracht worden. Von den Lungentuberkulosen eignen sich lediglich zur Ruhe gekommene, zirrhotisch-produktive Formen, wobei die langwelligeren Strahlen den Kurzstrahlen vorzuziehen sind. Auch ältere Brustfellentzündungen, namentlich mit verzögerter Resorption oder dicker Schwarte können durch Lichtbehandlung, hier in letzterem Falle besonders durch direkte Ultraviolettlichtbestrahlung, in ihrer Rückbildung gefördert werden. Nach den Vorschriften von Rollier wird langsam mit einer Bestrahlung (Sonnenlicht) der Füße begonnen und diese dann allmählich

gesteigert bis zum Hals. Der Kopf wird nicht besonnt. Als Bestrahlungszeit werden 2 mal 30 Minuten (je von vorne und von hinten) als genügend angesehen.

Bei der Tuberkulose des Bauchfelles und des Darmes eignen sich die trockenen und die mit Flüssigkeitsergüssen einhergehenden am besten zur Bestrahlung. Schwer zu beeinflussen dagegen ist die ulzeröse Form der tuberkulösen Peritonitis. Die Resultate der Bestrahlung äußern sich in der Weise, daß seröse Exsudate, verkäste Massen sich resorbieren oder sich fibrös umwandeln. Die Nierentuberkulose sei nur kurz gestreift. Es finden sich keine Berichte in der Literatur über Resultate der Lichtbehandlung bei dieser Erkrankung; nur Rollier will mit Höhensonne gute Erfolge beobachtet haben.

Viel Gutes leistet die ultraviolette Bestrahlung bei den verschiedenen Formen der chirurgischen Tuberkulose. Vor allem wirkt das Ultravioletlicht bei den oberflächlichen Fällen, insbesondere bei der Drüsentuberkulose gut. Ebenso spielt es eine therapeutisch wichtige Rolle bei der Behandlung der Gelenks- und Knochentuberkulose. Lexer (Deutsche med. Wochenschr. Nr. 29, 1921) hält als Hauptmittel der konservativen Therapie der chirurgischen Tuberkulose die Sonnenbestrahlung, die er im Winter durch die Quarzlampe ersetzt. Hagedorn (Würzb. Abhandl. Bd. 20, 1920) hält die Wirkung des ultravioletten Lichtes bei chirurgischer Tuberkulose für eine allgemeine, den Körperzustand hebende und hat keine spezifische Heilwirkung gesehen außer bei vereinzelten Drüsenfällen.

Wesentlich günstiger liegen die Verhältnisse bei der Behandlung mit ultraviolettem Licht bei der kindlichen Tuberkulose. Schönbauer (zit. bei Bach) berichtet aus dem nachkriegszeitlichen verelendeten Wien trotz äußerst ungünstiger Ernährungsverhältnisse seiner mit chirurgischer Tuberkulose behafteten Patienten bei einem Material von 1000 Fällen über einen Heilungsprozentsatz von 42—52% durch Quarzlampenbestrahlung. Die Wirkung der ultravioletten Strahlen ist bei den verschiedenen Arten der tuberkulösen Drüsenschwellungen meist eine recht gute. Unter Bestrahlung tritt in der Mehrzahl der Fälle eine erhebliche Verkleinerung der Drüsenschwellungen ein. Von taubenei- und walnußgroßen Drüsen bleiben meist Reste von Haselnußgröße oder platter und kleinerer Form von derb fibröser Beschaffenheit zurück. Ein völliges Verschwinden dieser Drüsen wird kaum beobachtet. Ob in dieser derben fibrösen Schwellung dann eine Dauerheilung erblickt werden kann, ist fraglich; meist bleiben die Kinder aber jahrelang beschwerdefrei. Bei Drüsenpaketen lösen sich unter Bestrahlung langsam die miteinander zusammenhängenden Drüsen voneinander los und sind schließlich nur noch als einzelne Knoten fühlbar. Ein völliger Rückgang zur Norm tritt indessen meist nicht ein.

Über die Wirkung der Ultravioletlichtbehandlung sind die Meinungen noch sehr geteilt. Durch Versuche ist bewiesen, daß selbst oberflächlich gelegene Tuberkelbazillen nicht abgetötet werden. Die also sonst dem Lichte innewohnende bakterizide Kraft spielt bei der Behandlung der

Hauttuberkulose keine Rolle. Es ist vielmehr besonders die entzündungerregende und vielleicht auch die pigmentbildende Kraft des Lichtes, die die Heilungsvorgänge an tuberkulösen Krankheitsherden hervorruft. In ihnen entsteht eine Alteration durch die reaktive Entzündung, der eine Erweiterung und Überfüllung arterieller Gefäße und eine Exsudation seröser Natur folgt, die das ganze tuberkulöse Infiltrat betrifft. Durch diese, das kranke Gewebe überschwemmende Exsudation wird zu den mangelhaften eigenen Verteidigungskräften des Organismus gegen die Tuberkelbazillen eine neue Kraft geschaffen, die diese infolge ihres Gehaltes an Schutzstoffen bezwingt. Neben der örtlichen spielt die Allgemeinbestrahlung eine große Rolle. Diese hat durch die Stoffwechselerhöhung auf das Allgemeinbefinden des Kranken einen sehr günstigen Einfluß.

Bei den nichttuberkulösen Erkrankungen des Respirationstraktus eignen sich zur ultravioletten Lichtbehandlung sehr gut das Asthma bronchiale, akute und chronische Bronchitiden und die Pneumonie. Das Asthma bronchiale ist durch die Bestrahlung selbst nicht zu heilen, jedoch wird in verschiedenen Fällen Erleichterung und Abkürzung der Anfälle beobachtet. Wohl handelt es sich dabei um eine Beeinflussung des Sympathikus oder um eine Reflexwirkung, die von der Haut über das Rückenmark zu den Lungen und Bronchien geht. Die Erfolge bei der Behandlung der kroupösen Pneumonie sind weniger auf eine Beeinflussung des örtlichen Leidens zurückzuführen als vielmehr auf die günstige Beeinflussung des Allgemeinzustandes.

Die Wirkung des ultravioletten Lichtes auf Stoffwechselkrankheiten ist noch sehr umstritten. Eine direkte Beeinflussung dürfte weniger in Frage kommen als vielmehr es sich wohl auch hier um eine Allgemeinwirkung auf den Gesamtorganismus handelt. Wagner (zit. b. Bach) vertritt die Ansicht, daß das Ultraviolettlicht die dissimilatorischen wie die assimilatorischen Vorgänge im Organismus in positivem Sinne beeinflußt. Aus diesen Vorgängen erklärt er sich den scheinbaren Widerspruch, daß durch Bestrahlung mit ultraviolettem Licht sowohl Ab- als auch Zunahme des Fettpolsters unter sonst entsprechenden Bedingungen eintritt. In gewissem Sinne gilt nach ihm dasselbe für den Kohlehydrat-, den Purinstoffwechsel, für den Eiweiß- und den Immunitätsstoffwechsel. Die Hauptwirkung auf die Stoffwechselvorgänge im Organismus beruht vor allem in der Beeinflussung der Hautfunktion. Es trifft dies besonders bei Gichtikern zu, die an einer angeborenen oder erworbenen Trockenheit der Haut leiden. Eine solche Haut hat eine geringe Schweißbildung und scheidet wenig Wasser und Stoffe aus. Ihre Anregung durch Lichtbestrahlung bessert die Ausscheidung und wirkt dadurch gegen Harnsäurestauung im Körper. Die Harnsäurebildung beruht natürlich auf anderen Vorgängen im Organismus und ist in erster Linie durch diätetische Behandlung zu beeinflussen; aber wenn wir in der Lage sind, ihre Ausscheidung durch Bestrahlung

zu begünstigen, so ist schon viel erreicht. Im ultravioletten Licht besitzen wir gleichsam ein spezifisches Mittel zur Anregung und Besserung der Hauttätigkeit und damit auch gegen die Gicht und gegen die Gichtdisposition, besonders bei Störung des Harnsäurestoffwechsels durch mangelhafte Hautfunktion.

Bei der Heilung eines Falles von Diabetes insipidus durch Ultraviolettlicht, über den die Deutsche med. Wochenschr. Nr. 43, 1911 berichtet hat, wirken die Kurzstrahlen in ähnlicher Richtung.

Auf den Einfluß ultravioletten Lichtes auf den Kohlehydratstoffwechsel wurde bereits früher hingewiesen. In verschiedenen Fällen von Diabetes mellitus ist es gelungen, die Zuckerausscheidung stark herabzudrücken, sogar bei Fällen, bei welchen sonst auf keine Weise ein völliges Verschwinden des Zuckers zu erreichen war, den Patienten zuckerfrei zu machen, wenn auch für kurze Zeit. In anderen Fällen dagegen wurde vollständig refraktäres Verhalten beobachtet. Es läßt sich bisher nicht sagen, worauf diese Resultate gegründet sind, vor allem, ob es sich um eine Verminderung der Zuckermobilisation oder um eine Vermehrung der Zuckerverbrennung oder um beides handelt. Malten empfiehlt bei Diabetes als mächtigste Anregerin der Drüsen und des Stoffwechsels die Lichtbehandlung mit natürlichem Sonnenlicht oder mit dem biologisch am stärksten wirkenden Ultraviolettlicht in Form von langdauernden, milden Bestrahlungen. Es soll damit eine Senkung des Blutzuckers und damit eine Verringerung der Zuckerausscheidung erzielt werden und zwar durch Förderung der Oxydation des Blutzuckers, vielleicht auch durch direkte Vermehrung der Insulinbildung.

Die Arteriosklerose, welche in der Hauptsache auch als Stoffwechselstörung des Zirkulationsapparates und der Nervenzentren aufzufassen ist, wobei insonderheit der Harnsäurestoffwechsel eine Rolle spielt, wird ebenfalls durch Kurzstrahlen günstig beeinflußt. Die Zirkulation wird wesentlich gebessert, Ohrensausen und Schwindelanfälle schwinden und die Leistungsfähigkeit der Kranken wird erhöht.

Man hat auch versucht, die Ultraviolettbestrahlung bei Erkrankungen des Nervensystems einzuführen und hat z. T. gute Erfolge erzielen können. Von Brustein (Ztschr. f. physik. u. diät. Therap. Bd. 13, 1910) berichtet über Erfolge mit Quarzlicht bei Ischias und Neuralgien des Trigeminus, Okzipitalis, Brachialis und Intercostalis. Auch auf Herzneurosen, Neurasthenie, Hysterie und Chorea wurde ein günstiger Einfluß beobachtet. Wie bei jeder anderen Therapie ist auch bei der Ultraviolettlichtbehandlung eine suggestive Wirkung nicht zu leugnen, aber schon der als Erythem sichtbar werdende Hautreiz der Ultraviolettbestrahlung spricht dafür, daß von Suggestion allein nicht die Rede sein kann. Es ist vielmehr anzunehmen, daß die Beeinflussung des Stoffwechsels und des Zirkulationsapparates, wobei die direkte Einwirkung auf den Sympathikus eine nicht unwesentliche Rolle zu spielen scheint, diese Erfolge verursacht. H. Bach

berichtet darüber weiter, daß angioneurotische Zustände, arteriospatische Erscheinungen und Parästhesien auf dem Boden vasomotorischer Störungen durch Lichtbehandlung günstig beeinflußt werden. Nach A. Laqueur kann die antispasmodische, nervenberuhigende Wirkung des ultravioletten Lichtes auch bei der Behandlung der multiplen Sklerose gute Dienste leisten; spastische Erscheinungen und Gehstörungen werden vielfach gemildert. Von englischer Seite wird ultraviolette Bestrahlung auch zur Behandlung von Parkinsonismus nach Enzephalitis empfohlen. Einige wenige eigene Beobachtungen Laqueurs ermutigen dazu, bei diesen therapeutischen, sonst schwer zugänglichen Leiden, sowie auch bei der echten Paralysis agitans die Versuche mit Ultraviolettbestrahlung fortzusetzen.

Auf die Wirkung dieser Strahlen bei der Erkrankung des Zirkulationsapparates wurde bereits früher hingewiesen. Von den Herzerkrankungen eignen sich besonders Schwächezustände des Herzens (Stahl, Med. Welt Nr. 34, 1930), z. B. nach schweren Erkrankungen, Überanstrengungen und bei sekundären Anämien zur Lichtbehandlung. Die günstige Wirkung ultravioletten Lichtes bei Angina pectoris mag ihre Erklärung in der Hyperämie der Haut des Brustkorbes finden.

Ein nennenswerter Erfolg in der Behandlung von Blutkrankheiten durch ultraviolette Strahlen ist bisher nicht zu verzeichnen. Bach hat angeblich bei Leukämien nach monatelanger Bestrahlung einigemal eine Verkleinerung des Milztumors gesehen. Vielleicht nehmen auch im peripheren Blut unter Gefäßdilatation scheinbar die Blutkörperchenzahl und der Hämoglobingehalt zu; eine wirklich dauernde Besserung ist aber einwandfrei noch nicht beobachtet worden.

Auf dem Gebiete der Chirurgie ist vor allem die Wundbehandlung mit Licht zu erwähnen. Sehr wichtig ist bei der Verwendung der Lichtstrahlung die verschiedene Wirkung der einzelnen Strahlenbezirke auf die Wunde bzw. den Heilungsverlauf. Ultraviolette Strahlen wirken reizend, anregend. Ihre entzündungserregende Wirkung äußert sich vor allem in der Reinigung verschmutzter Wunden. Die Absonderung nimmt zunächst zu, es tritt eine Überschwemmung und Durchspülung der Wunde ein, die einen großen Teil der Verunreinigungen fortschwemmt. Zu gleicher Zeit stößt sich nekrotisches Gewebe ab. Brandige und stinkende Wunden werden nach wenigen Bestrahlungen geruchlos. Es ist außerordentlich wichtig, nachdem hierfür der entzündungserregende Reiz des Lichtes, der besonders der ultravioletten Strahlung zukommt, genügend eingewirkt hat, nunmehr langwelligeres Licht einwirken zu lassen, weil sonst die Gefahr besteht, daß das junge, erst im Wachstum begriffene Gewebe wieder zerstört wird. Geht man hier vorsichtig vor, so verläuft die weitere Wundheilung normal, nur erheblich gegen die Norm beschleunigt. Die erzielten Narben sind gut und widerstandsfähig, dabei weich und glatt.

In ähnlicher Weise ist der günstige Einfluß des Lichtes bei Panaritien, Furunkeln, Karbunkeln usw. Bei Ulcus cruris wirken örtliche energische

Kurzstrahlen im selben Sinne wie andere Ätzmittel. Bei Wunden mit komplizierenden Nebenverletzungen, insbesondere der Knochen, liegen die Verhältnisse ähnlich. Wenn es die Behandlung zuläßt, kann die Bestrahlung als unterstützende Reizwirkung im ersten Stadium der Wundbehandlung von Nutzen sein.

Der künstlichen Höhensonnenbestrahlung von frischen Operationswunden wird neuerdings eine große Bedeutung zugeschrieben. Die Heilung erfolgt schneller mit guter Narbenbildung, auch haben die Bestrahlungen einen günstigen Einfluß auf das Allgemeinbefinden und die Rekonvaleszenz, wenn sie nicht nur lokal, sondern auch allgemein vorgenommen werden.

Der Einfluß des Lichtes auf die Gefäße hat zur erfolgreichen Anwendung der Bestrahlungen bei Ernährungsstörungen infolge Gefäßkrampf und Arteriosklerose geführt, so auch bei seniler Gangrän, zur Wiederherstellung geschädigter Zirkulation und zu beschleunigter Demarkierung bei Erfrierungen, Verbrennungen und chemischen Ätzwunden.

Bei Wundinfektionskrankheiten mit dem Bazillus pyocyaneus werden mit ultraviolettem Licht, besonders bei flächenhaften Wunden, gute Erfolge erzielt. Bei Erysipel wurden gute, jedoch zum Teil auch nachteilige Beobachtungen gemacht. Drünauer (Med. Klinik Nr. 29, 1924) nimmt an, daß durch die Bestrahlung die in dem Entzündungsherd herrschenden, gesteigerten Vorgänge unter dem Einfluß von ultraviolettem Licht gehemmt und abgeschwächt werden, so daß hierdurch auch für die Streptokokken ungünstige Verhältnisse geschaffen werden.

Da die Haut der Angriffspunkt der Lichtwirkung ist, eignen sich Hauterkrankungen in ganz besonderem Maße für die Lichttherapie. Man bedient sich hier fast ausschließlich der künstlichen Lichtquellen, vor allem der Quarzlampe. Im Gegensatz zu dem akuten Ekzem, bei dem das Quarzlicht durch die Verstärkung des schon vorhandenen Reizes sogar schädlich wirkt, sind beim chronischen Ekzem sehr gute Erfolge erzielt worden. Besonders gute Erfolge wurden bei der Behandlung des Ekzema seborrhoicum erzielt. Sehr wichtig ist, daß das heftige Jucken, welches eine Begleiterscheinung der verschiedenen Ekzeme ist, bereits nach den ersten Bestrahlungen schwindet. Ähnliche günstige Erfolge finden sich bei der Behandlung der Schuppenflechte. Während bei der akuten Form der Psoriasis die Lichtbehandlung ziemlich versagt, ist die Wirkung auf die chronische Form sehr günstig. Vielfach wird diese Bestrahlung bei oberflächlichen Mykosen, Pyodermien, Follikulitis, pruriginösen Affektionen, teleangiektatischen Naevis sowie bei allen mit Gefäßerweiterung einhergehenden Affektionen empfohlen. Eine ganz besondere Einwirkung haben die Strahlen auf die epithelialen Anhangsgebilde, die Haare und die Nägel. Man nimmt an, daß die Haare unter Lichteinwirkung im Sommer schneller wachsen als ohne diese. F. Nagelschmidt hat unter 104 Fällen von Alopecia areata 80 Fälle vollkommener Heilung zugeführt, während nur 8 ungebessert blieben. Seborrhoische Alopecie wurde in allen Fällen geheilt. Die

Seborrhoe selbst wird günstig beeinflußt, schon wenige Bestrahlungen bringen sie zum Verschwinden.

Für kein medizinisches Teilgebiet jedoch ist die Lichtbehandlung von solcher Wichtigkeit geworden wie für die Kinderheilkunde. Leistet sie doch zur Bekämpfung der Rachitis unschätzbare Dienste. Wenn die Rachitis heute glücklicherweise immer seltener wird, so ist dies zum größten Teil das Verdienst der modernen Strahlenheilkunde. Die ultraviolette Strahlenbehandlung der Rachitis hat seit ihrer Begründung durch Huldschinsky im Jahre 1919 einen Siegeszug durch die ganze Welt angetreten. Das ultraviolette Licht stellt gegen Rachitis ein Spezifikum dar, welches nach einem Ausspruch Huldschinskys „mit der Sicherheit eines Reagenzglasversuches" wirkt.

Da die Rachitis keine Nahrungsmittelmangelkrankheit ist, sondern eine reine Lichtmangelkrankheit, ist sie in erster Linie auch nur durch Licht zu heilen. Es sind dabei zwei Möglichkeiten gegeben, entweder Bestrahlung des Organismus selbst oder die Bestrahlung der Nahrungsmittel. Der wirksame Anteil des Lichtes dabei sind die ultravioletten Strahlen.

Was nun die Erklärungsversuche anlangt, so sei zunächst festgestellt, daß alimentär bedingte Schädigungen durch Lichtwirkung beeinflußt werden können. Dieses geht unzweifelhaft aus den zum Teil angeführten Beobachtungen deutscher und amerikanischer Autoren hervor. Über die Frage, wie der sicher festgestellte Einfluß auf den Stoffwechsel zustande kommt, gibt es verschiedene Ansichten. Birk und Schall (zit. bei Wellisch) fassen ihre Wirkung ähnlich wie die der Ergänzungsstoffe auf den Knochen als eine Assimilation des Kalkes vermittelnde auf, ähnlich Freudenberg und György (zit. bei Wellisch), sie nehmen bei der Rachitis eine Störung der Bindung der Kalziumionen durch den Knochen an, hervorgerufen durch eine Acidose. Auf Grund des herabgesetzten Phosphatgehaltes im Blutserum, der gesteigerten Phosphatausscheidung, des auffallend hohen Ammoniakwertes des Harns und der verminderten Alkalireserve des Rachitikers kommen sie zu dieser Vorstellung: Die Acidose ist ein Ausdruck einer Stoffwechselverlangsamung. Acidotisch wirkende Nahrungsmittel (z. B. Butterfett) führen zu einer Verschlimmerung, stoffwechselsteigernde Reize, wie Belichtung und Vitamine führen zur Heilung.

Andere sehen in der Lichtwirkung eine Art „Protoplasmaaktivierung". Die durch die Bestrahlung entstehenden Abbauprodukte beeinflussen den Knochen im Sinne einer besseren Kalkassimilation. Rothmann und Callenberg (zit. bei Bach) glauben in ihren Untersuchungen über Höhensonnenwirkung auf den Serumkalkspiegel das Wirksame der Bestrahlung in einer Lähmung des Hautsympathikus und dadurch hervorgerufen in einer Kalziumabwanderung aus der Haut zu erblicken, welche sich in einer Erhöhung des Serumkalkes äußert.

Auf die Bildung des Stoffes Vitamin D aus dem Cholesterin des Hauttalges wurde bereits hingewiesen.

Wie bereits erwähnt läßt sich die Rachitis nicht nur durch direkte Bestrahlung beeinflussen, sondern auch durch Verfütterung ultraviolettbestrahlter Nahrungsmittel. Wir verdanken diese Kenntnis A. F. Heß und Steenbock (zit. b. Bach) und ihren Mitarbeitern, die dieses gleichzeitig und unabhängig voneinander im Experiment an Ratten feststellen konnten. Sie konnten bei Verfütterung rachitiserzeugender Kost den Ausbruch der Krankheit durch Zufuhr von bestrahlten, vorher völlig wirkungslosen Nahrungsmitteln verhindern. So ließen sich verschiedene Öle, eine Reihe von pflanzlichen Produkten, Gemüse, auch chemisch reines Cholesterin und Phytosterin aktivieren und gewannen antirachitogene Eigenschaften, die sich in wirksamer Weise noch nach 10—12 Monaten zeigten. Wie erwähnt, gelingt es mit bestrahltem Cholesterin die Rachitis zu heilen, doch müssen ziemlich große Mengen davon verabreicht werden. Mittels der spektrometrischen Methode konnte im Anschluß an die Untersuchungen von Heilbron, Pohl und Windaus (zit. b. Bach) der Nachweis eines bestimmten Körpers mit bestimmten Absorptionsbanden im sogenannten reinen Cholesterin erbracht werden. Derselbe ist in einer Konzentration von $^1/_{20}$—$^1/_{50}$ Tausendstel dem Cholesterin beigemengt, seine Absorption deckt sich mit der des Ergosterins. Versuche mit diesem bestrahlungsaktivierten, antirachitischen Provitamin (Ergosterin) führten zu erfolgreicher Beeinflussung von Rachitis und Osteomalazie.

Die Frage, ob das Verfüttern bestrahlter Nahrungsmittel oder chemischer Substanzen die direkte Höhensonnenbestrahlung völlig ersetzen wird und verdrängen kann, dürfte zu verneinen sein. Ihre spezielle antirachitische Wirkung scheint der Heilwirkung der künstlichen Höhensonne wohl nahe zu kommen, aber die übrigen Wirkungen derselben, speziell die Allgemeinwirkungen, fehlen naturgemäß.

Ähnlich liegen die Verhältnisse bei der kindlichen Tetanie, da diese ja als ein Spiegelbild der Rachitis aufgefaßt werden kann und ihre Therapie deshalb vor allen Dingen eine antirachitische ist. Es ist jedoch vor allzu starker Höhensonnenbestrahlung zu warnen, da starker Hautreiz, wie er leicht bei ultravioletter Strahlung auftritt, Tetanie auslösen kann.

LITERATURANGABE:

Anagnostu: Beeinflussung des Stoffwechsels durch Licht. Biochem. Ztschr. Nr. 128, 1922.

Alexander H.: Praktisches Lehrbuch der Tuberkulose. 1931.

Bach H.: Anleitung und Indikation für Bestrahlung mit der Quarzlampe, Künstliche Höhensonne. 22. bis 23. Aufl. 1931.

Bang: Die bakterizide Wirkung der Strahlen. Finsens Mitt. H. 9, 1905.

Bernhard O.: Sonnenlichtbehandlung in der Chirurgie. 2. Aufl. 1923.

Bering: Ultraviolettlicht und Erythrozyten. Med. naturw. Arch. Bd. 1, 1907.

Dessauer F.: Zur Erklärung der biologischen Strahlenwirkung. Strahlentherapie Bd. 16, 1923.

Dessauer F.: Strahlung und Lebensvorgänge. Ztschr. f. Krebsforschung H. 35, 1932.

Dorno K.: Physik der Sonnen- und Himmelsstrahlung. Strahlentherapie Bd. 9, 1919.

Ellinger: Theorie der Strahlenwirkung. Sonderband Nr. 20 der Strahlentherapie, 1935.

Fürth: Pigmentbildung. Wiener med. Wochenschr. Nr. 5, 1920.

Gigon A.: Biologische Lichtwirkungen. Klin. Wochenschr. Nr. 2, 1930.

Gigon A.: Licht und Kohlehydratstoffwechsel. Strahlentherapie Bd. 34, 1929.

Haffner F.: Die biologischen Wirkungen der sichtbaren und ultravioletten Strahlen. Strahlentherapie Bd. 34, 1929.

Hasselbach K. H.: Chemische und biologische Wirkungen der Lichtstrahlen. Strahlentherapie Bd. 2, 1913.

Hausmann W.: Grundzüge der Lichtbiologie und Lichtpathologie. Sonderband Nr. 8 zur Strahlentherapie, 1923.

Hertel E.: Absorption der Strahlen. Ztschr. f. allg. Physiologie Bd. 6, 1907.

Jodlbauer A.: Die physiologische Wirkung des Lichtes. Handbuch der normalen und pathologischen Physiologie Bd. 17.

Jesionek A.: Die Reizwirkung des Lichtes und ihre therapeutische Indikation. Strahlentherapie Bd. 16, 1923.

Jesionek A.: Lichtbiologie und Lichtpathologie. Praktische Ergebnisse auf dem Gebiete der Haut- und Geschlechtskrankheiten. 1912.

Kartschagin W.: Über die Absorption sichtbarer und ultravioletter Strahlen durch die Gewebe des Menschen. Ztschr. f. physikal. Therapie 1936.

Kestner: Über die Wirkung des Lichtes auf das Blut. Ztschr. f. Biologie Bd. 7, 1921.

Kestner und Plaut: Beeinflussung des Stoffwechsels durch Lichtstrahlen. Klin. Wochenschr. Nr. 44, 1923.

Königsfeld H.: Änderung der Stickstoffbilanz durch Lichtwirkung. Ztschr. f. klin. Med. Bd. 91, 1921.

Laqueur A.: Die Lichtbehandlung der inneren Medizin. Strahlentherapie Nr. 28, 1928.

Lehmann G.: Lichtwirkung auf den Grundumsatz. Arbeitsphysiologie Nr. 5, 1932.

Malten: Physikalische Behandlung des Diabetes. Süddeutscher Verl. 1932.

Meirowsky: Über den Ursprung des melanotischen Pigmentes der Haut und des Auges. Leipzig 1908.

Meyer C. F.: Über den Einfluß des Lichtes im Höhenklima. JAD. Basel, 1900.

Meyer H.: Lehrbuch der Strahlentherapie, 1925.

Nagelschmidt F.: Die Behandlung des Haarausfalles. Berlin 1920.

Neuberg K.: Beziehungen des Lebens zum Licht. Berlin 1923.

Oppenheimer: Einfluß der Strahlung auf die Zelle. Handbuch der Biochemie Bd. II, 1928.

Pincussen L.: Biologische Lichtwirkungen. Ihre physikalischen und chemischen Grundlagen. Ergebn. der Physiologie, 1920.

Pincussen L.: Lichtbiologische Wirkungen. Med. Klinik, Beil. 1, 1929.

Pincussen L.: Beeinflussung des Stoffwechsels durch Strahlung. Handbuch der Biochemie, 1928.

Pincussen L.: Stoffwechsel der Kohlehydrate und ultraviolettes Licht. Ztschr. f. exp. Therapie Bd. 26.

Pincussen L.: Spezielle Pathologie und Therapie innerer Krankheiten, Bd. 9, 1921.

Pincussen L.: Einfluß der Strahlung auf die Zelle. Handbuch der Biochemie. Bd. II, 1925.

Rollier A.: Haut und Sonnenstrahlen. Strahlentherapie Bd. 45, 1932.

Rothmann und Callenberg: Wirkung auf den Kalkspiegel durch Bestrahlung. Klin. Wochenschr. Nr. 2, 1923.

Rothmann: Pigmentbildung. Ztschr. f. exp. Med. Nr. 36, 1923.

Rost G. A.: Die biologischen Grundlagen der Ultravioletttherapie. Strahlentherapie Bd. 16, 1923.

Schall L.: Zur Biologie des ultravioletten Lichtes. Bruns Beitr. klin. Chir. Nr. 143, 1928.

Schmidt, Nielsen: Beeinflussung isolierter Bestandteile des Blutes. Finsens Mitt. H. 10, 1906.

Schultze W.: Die Reflexion und Absorption der menschlichen Haut im Ultraviolett. Strahlentherapie Bd. 35, 1930.

Spiegel A.: Neuere Ergebnisse über Eiweißveränderungen durch Ultraviolett-, Radium- und Röntgenstrahlen. Ergebn. der Physiologie Bd. 27, 1928.

Traugott: Wirkung des Lichtes auf Erythrozyten und Hämoglobin. Münchn. med. Wochenschr. Nr. 12, 1920.

Wellisch E.: Die Quarzlampe. J. Springer, 1932.

Wellisch E.: Über die therapeutische Bedeutung des Quarzlicht-Erythems. Med. Welt Nr. 35, 1935

LEBENSLAUF

Ich wurde am 5. Mai 1909 in Landshut geboren. Februar 1932 absolvierte ich die Oberrealschule in Dresden. Im Sommer-Semester 1932 begann ich das medizinische Studium an der Universität in München, der ich bis zum Schluß des Staatsexamens angehörte. November 1934 legte ich dort das Physikum, Februar 1938 das Staatsexamen ab.

Johann Hubloher